



Paulo Diogo Silva Ferreira Lourenço

Licenciatura em Ciência de Engenharia do Ambiente

**Produção de eletricidade a partir de energia solar
fotovoltaica de larga escala PV e CPV na zona rural
do município de Évora: área disponível e potencial
técnico**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente - Perfil de Gestão e Sistemas
Ambientais

Orientador: Professora Doutora Maria Júlia Fonseca
de Seixas, DCEA, FCT-UNL

Coorientador: Professora Doutora Maria Teresa
Calvão Rodrigues, DCEA, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira, FCT-UNL

Arguente: Doutor António Luiz Moura Joyce, LNEG

Vogais: Prof. Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2014

Avaliação do potencial técnico de energia solar fotovoltaica PV e CPV na zona rural do município de Évora

Copyright © Paulo Diogo Silva Ferreira Lourenço, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*“We need to stop calling this alternative energy. It implies that it’s just an alternative.
But in fact it’s an imperative. It’s cleaner, it’s better, it’s smarter”.*

Sen. Hillary Rodham Clinton “Alternative Energy” (N.Y., 2004).

Dedico esta dissertação ao meu querido avô Carlos, que partiu antes de eu a concluir.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao projecto InSmart – Integrative Smart City Planning, financiado pela Comissão Europeia, por ter permitido o acesso aos dados do município de Évora, nomeadamente do seu Plano Diretor Municipal, sem os quais o trabalho realizado não teria sido possível.

Em segundo lugar quero agradecer à Professora Doutora Júlia Seixas, minha orientadora e à Professora Doutora Maria Teresa Calvão, minha coorientadora, pelo tempo despendido pela total disponibilidade, imprescindível ajuda e apoio incondicional manifestado em cada momento, em cada dúvida com que me fui deparando, no decorrer da elaboração desta dissertação. Quero também agradecer à empresa GeoModel pelo acesso gratuito à sua plataforma de cálculo de energia solar e em particular a Pablo Caballero, por todo o tempo despendido e conhecimentos partilhados.

Por último quero agradecer à minha família, namorada, colegas e amigos que, sem o sue apoio, não teria sido possível concretizar este importante objetivo.

A todos o meu obrigado!

Resumo

No sentido de diminuir a dependência externa de energia nomeadamente de combustíveis fósseis, combater as alterações climáticas e colmatar o défice potencial de energia associada à dependência de energia hídrica, Portugal necessita aumentar o investimento noutras fontes de energia renovável (FER) para produção de eletricidade, nomeadamente na energia solar. Sendo uma das zonas com maior radiação solar da Europa ($1\,900\text{ kWh/m}^2$), Portugal não aproveita este recurso como poderia.

O presente estudo avalia o potencial técnico de produção de energia solar fotovoltaica centralizado de larga escala ($> 1\text{ MW}$), no Concelho de Évora. Recorrendo ao sistema de informação geográfica ArcGIS, foram estimadas as áreas disponíveis e as áreas úteis potenciais para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica, por forma a calcular o potencial de potência instalada (MW) e de produção de energia elétrica (GWh/ano). Foram considerados diferentes cenários relativos ao uso do solo, no contexto do Plano Diretor Municipal, e ao tipo de projeto, tendo sido consideradas as tecnologias de sistema fotovoltaico sem concentração (PV) e de sistema fotovoltaico concentrado (CPV).

No cenário mais restritivo sobre a ocupação do solo foi estimada uma área útil de $4\,978\text{ ha}$ (cerca de 4% da área total do Município) que corresponde a um potencial técnico de produção de energia de $2\,357\text{ GWh/ano}$, se se considerar um sistema CPV com 1 MW de potência instalada. Para efeitos de comparação, esta produção corresponde a 9 vezes o valor do consumo de eletricidade anual do Concelho de Évora e a cerca de 5% do consumo anual de eletricidade em Portugal continental em 2012. O potencial muito significativo de produção de eletricidade solar é justificada pela disponibilidade de ocupação do solo, pelo declive suave do terreno e pelo excelente nível de radiação solar incidente.

Da análise dos diversos cenários avaliados, concluiu-se que o sistema mais vantajoso, em termos de produção de energia por unidade de área, independentemente do cenário de ocupação do solo, é o sistema CPV de larga escala ($20\text{ a }30\text{ MW}$) que apresenta valores de produção da ordem de $0,64\text{ GWh/ha}$.

Palavras-chave: potencial solar técnico de larga escala; potencial fotovoltaico; CPV; PV; sistemas de informação geográfica; energia renovável.

Abstract

In order to decrease the dependence on foreign energy, namely fossil fuels, fighting climate change and addressing the potential energy deficit associated with dependence on hydropower, Portugal needs to increase investment in other renewable energy sources for production of electricity, including solar photovoltaics. Being one of the areas with highest solar radiation in Europe (1,900 kWh/m²), Portugal does not take full advantage of this resource.

This study evaluates the technical potential to produce large scale centralized photovoltaic solar energy (>1MW), in the municipality of Évora. Using the ArcGIS geographic information system, available areas and potential areas useful for implementation of projects harnessing photovoltaic solar energy were estimated, in order to calculate the potential installed capacity (MW) and electricity production (GWh/year). Different scenarios relating to land use, in the context of the Municipal Master Plan, and of the type of the project, were weighted, and the technologies considered were the traditional photovoltaic system (PV) and concentrated photovoltaic system (CPV).

In the most restrictive land occupation scenario, it was estimated an area of 4,978 ha (about 4% of the total Municipality area), which corresponds to a technical potential of energy production of 2,357 GWh/year, for a CPV system with 1 MW of installed capacity. For comparison, this production is nine times the annual electricity consumption of the Municipality of Évora and about 5% of the annual electricity consumption of continental Portugal in 2012. The very significant potential for generating solar electricity is justified by the availability of land occupation, the gentle terrain slopes and the excellent level of solar radiation.

From the analysis of the different evaluated scenarios, it was found that the most advantageous system, in terms of energy production per unit area, regardless of the land occupation scenario, is the large scale CPV system (20 to 30 MW), which offers output values of about 0.64 GWh/ha.

Keywords: large scale technical solar potential; photovoltaic potential; CPV; PV; geographic information systems; renewable energy;

Índice de Matérias

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.1.1. Perspetiva mundial sobre a produção de eletricidade de fonte renovável.....	2
1.1.2. Perspetiva portuguesa sobre a produção de eletricidade de fonte renovável.....	4
1.2. Âmbito e Objetivos.....	9
2. Energia Solar.....	12
2.1. Radiação Solar.....	12
2.1.1. Componentes da radiação.....	12
2.1.2. Radiação solar no topo da atmosfera.....	13
2.1.3. Variabilidade.....	14
2.2. Sistemas de aproveitamento de energia solar.....	16
2.2.1. Solar térmico.....	16
2.2.1.1. Solar térmico para aquecimento ambiente e águas sanitárias.....	16
2.2.1.2. Solar Térmico de concentração para produção de eletricidade (CSP).....	17
2.2.2. Solar fotovoltaico.....	17
2.2.2.1. Sistema fotovoltaico sem concentração (PV)	17
2.2.2.2. Sistema fotovoltaico de concentração (CPV)	18
2.2.3. Tipos de células fotovoltaicas.....	21
2.2.3.1. Sistemas fotovoltaicos de primeira geração.....	21
2.2.3.2. Sistemas fotovoltaicos de segunda geração.....	22
2.2.3.3. Sistemas fotovoltaicos de terceira geração.....	22
2.2.4. Componentes de um sistema fotovoltaico ao nível do solo.....	25
2.2.5. Módulos fotovoltaicos.....	26
2.2.5.1. Tipos de estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos.....	27
2.2.6. Preço dos sistemas fotovoltaicos.....	30
2.2.6.1. Custo do módulo fotovoltaico.....	31
2.2.6.2. Custos globais do sistema fotovoltaico.....	32
3. Área de Estudo: Concelho de Évora.....	36
3.1. Área disponível.....	36
3.2. Radiação incidente.....	37
3.3. Exposição solar.....	39
3.4. Análise ao PDM de Évora.....	41
3.4.1. Condicionantes relativas aos usos do solo.....	41
3.4.2. Condicionantes dos usos do solo: espaço agrícola e florestal.....	43

4. Metodologia de avaliação do potencial técnico de produção de eletricidade a partir do aproveitamento de energia solar fotovoltaico no Concelho de Évora.....	44
4.1. Estimativa da área disponível e da área útil necessária para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar.....	44
4.1.1. Análise das restrições com carácter de proteção.....	44
4.1.2. Análise das restrições físicas associadas ao uso do solo.....	50
4.1.3. Análise tecnológica e estimativa da área útil.....	58
4.2. Estimativa do potencial de capacidade instalada (MW) e de produção de eletricidade.....	60
5. Resultados e Discussão.....	64
6. Conclusão.....	77
6.1. Potencial técnico solar PV.....	78
6.2. Potencial técnico solar CPV.....	79
6.3. Limitações do estudo e desenvolvimentos futuros.....	81
Referências bibliográficas	
Legislação consultada	

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Previsão da evolução da procura de energia primária (IEA/OECD, 2013).....	3
Figura 1.2 - Previsão da contribuição dos vários tipos de energia renovável para o consumo de eletricidade na Europa (TWh) (adaptado de Zervos et al, 2010).....	4
Figura 1.3 - Evolução do peso (%) da produção de cada tecnologia no total da produção de eletricidade em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).....	6
Figura 1.4 - Evolução da energia elétrica produzida através de energias renováveis (GWh) em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).....	7
Figura 1.5 - Energia fotovoltaica instalada cumulativa (MW) em Portugal (adaptado de IEA, 2013)....	7
Figura 2.1 - Irradiação Global Horizontal (GHI) no mundo (GeoModel Solar, 2013).....	12
Figura 2.2 – Projeto CPV (Gombert, 2009).....	18
Figura 2.3 – Projeto CPV (Gombert, 2009).....	18
Figura 2.4 - Variação do rendimento com a temperatura para um sistema CPV e PV com <i>tracking</i> 2 eixos. (Silva, 2010).....	19
Figura 2.5 – Componentes do balanço energético de uma célula solar (c-Si) (adaptado de GREENPRO, 2004).....	20
Figura 2.6 - Evolução da eficiência das células fotovoltaicas (NREL, 2014).....	23
Figura 2.7 - Tipos de estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos e exemplificação das suas rotações (GeoModel Solar, 2014)	26
Figura 2.8 - Performance de sistemas fixos contra sistemas <i>tracking</i> durante todo o ano (Mayfield, 2008).....	27
Figura 2.9 - Cenários da evolução dos preços de sistemas fotovoltaicos (EPIA, 2012).....	29
Figura 2.10 - Custos repartidos do sistema com células c-Si nos EUA no ano de 2010, para quatro diferentes casos (IRENA, 2012).....	32
Figura 2.11 - Preços médios associados a determinadas dimensões de sistemas PV de larga escala (>1 MW) por país, no ano de 2010 (IRENA, 2012).....	33
Figura 2.12 - LCOE de tecnologias solares em locais com alta incidência solar em 2013 (O valor sob a tecnologia refere-se à irradiação solar kWh / (m ² a): GHI para PV, DNI para CPV e CSP) (Kost et al, 2013).....	34
Figura 3.1 – Localização do Município de Évora em Portugal Continental.....	35
Figura 3.2 - Irradiação global horizontal (GHI) no continente português (GeoModel Solar, 2011b).....	37
Figura 3.3 - Irradiação global horizontal (GHI) na região de Évora durante o ano, dividida nas suas três componentes (GeoModel Solar, 2014).....	37
Figura 3.4 – Mapa da radiação global anual (Wh/m ²) no Município de Évora.....	38
Figura 3.5 – Imagem ilustrativa da zona estudo, nomeadamente das planícies que constituem a área rural do Concelho de Évora (http://www.avesnest.com).....	39
Figura 3.6 – Carta de declives do Município de Évora (valores da legenda em percentagem).....	39
Figura 3.7 – Carta de exposição solar do Município de Évora.....	40
Figura 4.1 - Metodologia de produção dos mapas de ocupação do solo.....	50
Figura 4.2 – Metodologia de produção dos mapas de declive e exposição em formato vetorial.....	51
Figura 4.3 – Metodologia para identificar a área disponível.....	56
Figura 4.4 - Diferença entre área direta e área total de um projeto de aproveitamento de energia solar (Ong et al, 2013).....	58
Figura 4.5 - Metodologia da avaliação potencial da capacidade instalada e da produção de eletricidade.	62
Figura 5.1 - Mapa do Concelho de Évora evidenciando as zonas com permissão para implementação de projetos fotovoltaicos por parte do Relatório do Plano Diretor Municipal de Évora (2007).....	67

Figura 5.2 – Localização de projetos 1 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.....	68
Figura 5.3 – Localização de projetos 10 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.....	69
Figura 5.4 – Localização de projetos 20 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.....	70
Figura 5.5 – Localização de projetos 30 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.....	71
Figura 6.1 - Produção (GWh) por hectare das duas tecnologias para os quatro cenários técnicos de capacidade instalada no cenário Rigoroso de ocupação do solo.....	80

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Previsão da capacidade instalada de energia renovável na Europa (adaptado de Zervos <i>et al</i> , 2010)	3
Tabela 1.2 - Evolução histórica da potência total instalada em renováveis (MW) em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).....	8
Tabela 1.3 - Alguns investimentos em projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica em Portugal.....	9
Tabela 2.1 -Vantagens e desvantagens entre os diferentes tipos de tecnologias (adaptado de Soitec, 2014)	19
Tabela 2.2 - Comparação da eficiência para vários tipos de células (adaptado de GREENPRO, 2004).....	24
Tabela 2.3 – Tipos de módulos fotovoltaicos consoante as variações ao nível das várias componentes. (GREENPRO, 2004).....	26
Tabela 2.4 – Produção de eletricidade (GWh/MW) de três tipos de célula com vários tipos de estrutura de suporte para uma área de Évora (adaptado de GeoModel Solar, 2014).....	28
Tabela 4.1 – Resumo do nível de restrição para cada categoria do PDM.....	48
Tabela 4.2 - Resumo das características dos diferentes cenários de uso do solo.....	55
Tabela 4.3 – Requisitos de área por dimensão do projeto fotovoltaico com um sistema PV (Ong et al, 2013).....	57
Tabela 4.4 – Requisitos de área por dimensão do projeto fotovoltaico com um sistema CPV (Ong et al, 2013).....	57
Tabela 4.5 - Comparação entre um valor de produção de energia (GWh) real e um estimado por cálculos.....	59
Tabela 4.6 – Características do local e do sistema fotovoltaico usado para determinar a produção de eletricidade por parte do sistema para 1MWp de potência instalada.....	60
Tabela 4.7 - Análise de produção de energia e de área necessária para cada tipo de tecnologia e de cenários de potência instalada (MW) (Ong et al, 2013 & DGEG, 2013b & DGEG, 2013c & Catavento, Produção de Energia 2007).....	60
Tabela 5.1 - Área disponível dos diferentes cenários de uso do solo.....	63
Tabela 5.2 -Áreas disponíveis para cada cenário de uso do solo e consequente área útil associada a cada um dos cenários técnicos.....	65
Tabela 5.3 - Potencial de capacidade instalada em cada um dos três cenários tendo em conta os sub cenários técnicos.....	72
Tabela 5.4 - Potencial de produção (GWh) dos três cenários consoante o cenário de capacidade instalada (MW).....	74
Tabela 5.5 - Potencial de produção por hectare (GWh/ha) dos três cenários de uso do solo para os diferentes limites mínimos de capacidade instalada e para as duas tecnologias.....	75

Listas de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

CHC - Combined heating and cooling

CPV – Fotovoltaico com concentração

CSP - Concentrated Solar Power

DHI - Diffuse Horizontal Irradiation

DNI - Direct Normal Irradiation

FER - Fontes de Energia Renovável

GHI - Global Horizontal Irradiation

GTI - Global Tilted Irradiation

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PAESE - Plano de Ação para a Energia Sustentável de Évora

PICS - Polymer Integral Collector-Storage

PV – Fotovoltaico sem concentração

SIG – Sistema de Informação Geográfico

TCMA - taxa de crescimento média anual

1. Introdução

1.1. Enquadramento

As mudanças climáticas a que temos vindo a assistir nos últimos anos, derivadas do aquecimento global, são um fenómeno de preocupação mundial. Estas mudanças climáticas, hoje apelidadas de “alterações climáticas” estão associadas a catástrofes, como cheias e períodos de seca extrema. Nos últimos 25 anos a temperatura da Terra aumentou 0,18 ° C por década, e prevê-se um aumento de 1,4 a 5,8 °C até ao final do século. Simultaneamente o nível médio do mar tem vindo a aumentar 0,03 mm/ano desde 1993 e os eventos climáticos extremos são hoje mais frequentes e intensos (IPCC, 2011).

Segundo a *World Health Organization* (2010), desde a década de 70 até aos dias de hoje, este fenómeno causou mais de 140 000 mortes. O aumento dos gases de efeito de estufa na atmosfera terrestre, provocado pelo homem através da utilização massiva de combustíveis fósseis, é uma das principais causas das alterações climáticas. Desde aproximadamente 1850, que os combustíveis fósseis dominam o mercado energético (Akpan & Akpan, 2011). A procura deste tipo de combustíveis fez com que a concentração de CO₂ na atmosfera aumentasse 40%, entre 1750 e 2011 (IPCC, 2011).

O tempo de vida limitado dos combustíveis fósseis, a sua distribuição heterogénea, as consequências da sua utilização, nomeadamente o aquecimento global e as alterações climáticas, assim como a segurança da oferta de energia, estão a impulsionar uma mudança do panorama energético mundial. No seguimento desta mudança, têm vindo a ser criadas novas políticas governamentais de apoio às energias renováveis para substituir os combustíveis fósseis. Esta solução, de origem natural, virtualmente inesgotável e neutra em carbono ao nível da sua utilização, tem potencial para substituir totalmente a produção de eletricidade, calor, frio e combustíveis para transportes, tradicionalmente gerados a partir de combustíveis fósseis. Trata-se portanto, de uma solução segura, de transição para uma economia de baixo carbono (Sven *et al*, 2007). Outra mais valia das energias renováveis, prende-se com o fato de serem endógenas, o que pode levar a uma diminuição da dependência energética do exterior (Olz *et al*, 2007).

A energia renovável é considerada suficientemente grande, em termos quantitativos, para fornecer seis vezes mais energia do que aquela que é consumida mundialmente na atualidade (Sven *et al*, 2007). Segundo Chu (2011) a energia solar recebida num dia pelo planeta Terra (120 Petawatts) chegaria para satisfazer a procura global durante 20 anos.

A produção de energia pode ser dividida em produção descentralizada normalmente de pequena escala, que serve principalmente o cidadão particular e produção descentralizada. A primeira é de facto uma solução para satisfazer diversas necessidades de procura, por exemplo de zonas que não estejam inseridas no seio urbano. No entanto o sistema de produção centralizada evidencia ser a melhor solução, conseguindo assegurar a segurança no abastecimento nos países desenvolvidos e em desenvolvimento

(Leite, 2011). A cada uma estão associadas vantagens e desvantagens, ou em relação à limitação da produção de energia associada ao espaço disponível no caso da produção descentralizada ao nível residencial ou em relação às perdas de energia associadas ao transporte de energia proveniente da produção centralizada.

1.1.1 Perspetiva mundial sobre a produção de eletricidade de fonte renovável

As previsões apontam para um forte crescimento mundial de geração de eletricidade a partir de FER em todo o mundo. No entanto, este crescimento seria ainda maior, não fosse a recessão económica mundial que ainda se faz sentir. Segundo a International Energy Agency/OECD, (2013), entre 2010 e 2040, haverá um aumento do consumo mundial de energia, superior a 50%, sendo que esta previsão aponta para um aumento de 90% nos países não pertencentes à OCDE, como a China, Índia e Brasil e nos países da OCDE aponta apenas para 17% (IEA/OECD, 2013). Outros países emergentes têm vindo a optar por investir em energias renováveis, nomeadamente a energia solar fotovoltaica e energia eólica, como é o caso de Marrocos, Emiratos Árabes Unidos e África do Sul (Zervos *et al*, 2010).

A forte aposta nas energias renováveis que se tem vindo a sentir tem como finalidade principal a produção de eletricidade e não a de substituir a utilização dos combustíveis fósseis no sector dos transportes, razão pela qual se estima que os combustíveis fósseis representarão cerca de 80% do consumo mundial de energia até 2040 (IEA/OECD, 2013). Dentro dos combustíveis fósseis, o gás natural, com um tempo de vida útil de 200 anos, representa o combustível com um crescimento mais rápido, aumentando 1,7% ao ano, sendo elevado quando comparado com o crescimento expectável de 2,8%/ano entre 2010 e 2040, das energias renováveis (RWE, 2014 & IEA/OECD, 2013).

Como mostra a figura 1.1, em 2011 a procura de energia primária na Europa representava 183 Mtoe, quase metade do valor da China. Tendo em conta as atuais políticas energéticas, prevê-se que em 2020 o valor de procura de energia primária na Europa suba para 250 Mtoe e para 373 Mtoe na China, esperando-se assim uma maior evolução percentual na Europa.

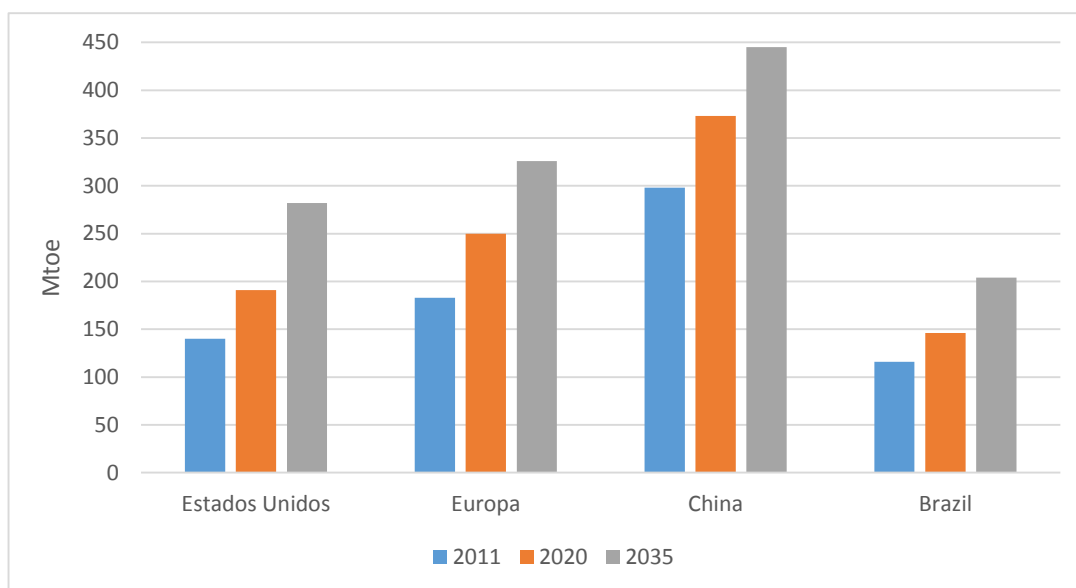


Figura 1.1 - Previsão da evolução da procura de energia primária (IEA/OECD, 2013).

Relativamente à geração de eletricidade total no mundo a partir de FER, em 2011 a energia solar fotovoltaica representava 1,4%, contra 9,7% de energia eólica e 77% de energia proveniente de hidroelétricas (IEA/OECD, 2013). Caso se mantenham as políticas energéticas, é previsível que a geração de eletricidade em 2020, a partir de energia solar fotovoltaica passe para 5,2%, a eólica para 9% e a hídrica para 63%. Esta subida prevista para o período entre 2011 e 2020, relativamente à utilização global de energia solar fotovoltaica, corresponde a aproximadamente 300 TWh, o que indica um aumento de 33,3 TWh por ano (IEA/OECD, 2013).

A energia solar fotovoltaica está em crescimento, indicando um possível e natural decréscimo do investimento nos restantes tipos de energia. As previsões da capacidade instalada deste tipo de energia (tabela 1.1), indicam que, face ao seu elevado potencial, se venha a tornar uma das fontes de energia dominantes até ao ano de 2050 (Zervos *et al*, 2010).

Tabela 1.1 - Previsão da capacidade instalada de energia renovável na Europa (adaptado de Zervos *et al*, 2010).

Capacidade Instalada (GW)	2007	2020	2030	2050
Eólica	56	180	288,5	462
Hidroelétricas	102	120	148	194
PV	4,9	150	397	962
Biomassa	20,5	50	58	100
Geotérmico	1,4	4	21,7	77
Produção Solar de Concentração	0,0011	15	43,4	96
Ondas e Marés	-	2,5	8,6	65
Total	185	521,5	965,2	1956

Com base na figura 1.2, percebe-se, que segundo a previsão de Zervos *et al* (2010), no ano de 2020 a energia eólica (447 TWh), um pouco a par com a energia hídrica (387 TWh), continuarão a ser os tipos de energia renovável com maior contribuição para a produção de eletricidade na Europa. Tanto em 2030 como em 2050, a energia eólica manter-se-á na liderança (833 TWh, 1552 TWh), no entanto a energia hídrica será substituída pela energia solar PV (556 TWh, 1347 TWh) que terá a segunda maior evolução, acompanhando a evolução da energia eólica. Em 2020, a energia renovável será responsável por 39% da energia total consumida, subindo para 66% em 2030 e para 100% em 2050.

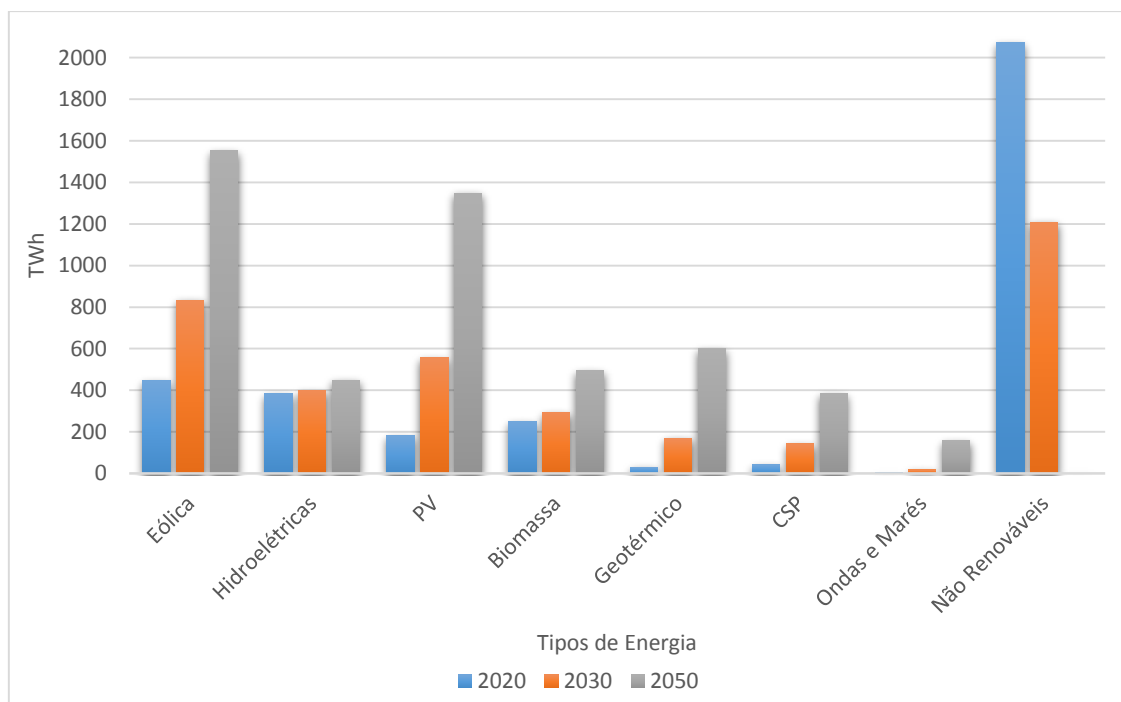


Figura 1.2 - Previsão da contribuição dos vários tipos de energia renovável para o consumo de eletricidade na Europa (TWh) (adaptado de Zervos *et al*, 2010).

A nível mundial, a produção de energia solar a partir de painéis fotovoltaicos, representa a tecnologia mais utilizada dentro do sector da energia solar. Esta cresceu, em todo o mundo, aproximadamente 50% por ano, ao longo da última década, aproximando-se de uma produção mundial de 100 TWh, no ano de 2012 (IEA/OECD, 2013). Embora a produção de energia solar seja variável, esta correlaciona-se relativamente bem com as necessidades e procura de energia, ao longo do dia.

1.1.2 - Perspetiva portuguesa sobre a produção de eletricidade de fonte renovável

Portugal apesar de ser um país sem recursos energéticos fósseis em quantidades rentáveis, como petróleo, carvão e gás, é um dos principais países da UE no que se refere ao potencial solar para produção de energia elétrica, a par da República de Malta, Chipre, Espanha, Itália, Croácia, sul da França, Córsega, Grécia e sul da Turquia (Šúri *et al*, 2007). Portugal continental apresenta um valor médio de horas de sol anual que varia entre 2200 e as 3000 horas, enquanto por exemplo na Alemanha, este indicador se situa entre 1200 e 1700 horas (DGEG, 2014). Portugal está portanto muito bem situado na perspetiva de aproveitamento da energia solar. No entanto, o valor de 58,3 %, decorrente de 2013, relativo ao consumo de energia elétrica proveniente de FER em Portugal, pode ainda ser mais elevado se tivermos em conta o fraco investimento em aproveitamentos de energia solar e o elevado potencial desta energia no nosso país (Quercus, 2014).

Portugal tornou-se muito dependente do exterior ao nível energético. O ano de 2005 registou o maior valor (88,8%) de dependência energética, devido ao ano hidrológico seco e à consequente baixa produtividade das centrais hídricas. Ainda assim, devido às exigências do Parlamento Europeu e da Comissão Europeia, através por exemplo da Diretiva 2001/77/CE e mais tarde da Diretiva 2009/28/CE, relativa às Energias Renováveis e Eficiência Energética, Portugal, como membro da UE, sentiu nesta última década uma rápida expansão de geração de energia de fontes renováveis (DGEG, 2013b & IEA/OECD, 2013).

No ano de 2001, no seguimento da Diretiva Europeia 2001/77/CE, Portugal após ter reconhecido a importância das energias renováveis no quadro energético nacional, assumiu para 2010 o compromisso de que 39% do consumo de eletricidade seria proveniente de FER (EC, 2007). Decorrente da Diretiva 2009/28/CE, surgiu a iniciativa “20-20-20”, que visa, essencialmente, atingir três grandes metas até 2020: (i) reduzir em 20% as emissões de gases de efeito estufa, face aos níveis de 1990, (ii) reduzir o consumo de energia primária em 20%, recorrendo à eficiência energética e (iii) aumentar em 20% o consumo de energia proveniente de FER (EC, 2009 & Parlamento Europeu, 2008).

Em 2012, Portugal foi o quarto país da UE15 com maior incorporação de energia renovável para produção de eletricidade (35%). Já no ano de 2013 registou-se um aumento de 51% em relação a 2012 da produção de energia elétrica a partir de FER, mostrando uma contínua evolução na aposta nas energias renováveis (DGEG, 2013b).

Consequentemente, a taxa de dependência energética do exterior tem vindo a baixar ano após ano, atingindo em 2010 os 76%. Contudo, no ano de 2011 a taxa de dependência voltou a subir para 79,4% mais uma vez devido à forte quebra da produção hídrica (-45% face ao ano anterior), e em 2013 ocorreu uma decida abrupta para os 71,5%, devido sobretudo à redução do consumo de carvão e gás natural na

produção de energia elétrica visto que a produção de eletricidade a partir de FER ao nível residencial subiu 21% (DGEG, 2013a & DGEG, 2013b).

Como mostra a figura 1.3, Portugal é muito dependente da energia hídrica, e consequentemente da pluviosidade anual, que é muito irregular no nosso país. No ano de 2013, do total de energia elétrica produzida em Portugal, a partir de FER, aproximadamente 49%, foram provenientes de origem hídrica (DGEG, 2013b).

Este é de facto o sector onde mais se tem investido, seguido pelo sector eólico, biomassa, biogás e por último o sector da energia solar, nomeadamente energia fotovoltaica. No entanto tem-se notado uma maior aposta neste último sector em detrimento do biogás, como demonstra a mesma figura. A energia fotovoltaica, apesar da evolução que tem tido, desde 2007, continua a ter um peso quase residual, face aos restantes tipos de aproveitamento energético do género, denegrindo o seu potencial contributo para o modelo energético sustentável. É importante referir que o investimento em energia hídrica se iniciou nos anos 60 e que a maior parte das centrais hidroelétricas já estavam construídas quando se começou a investir nos restantes tipos de energias renováveis.

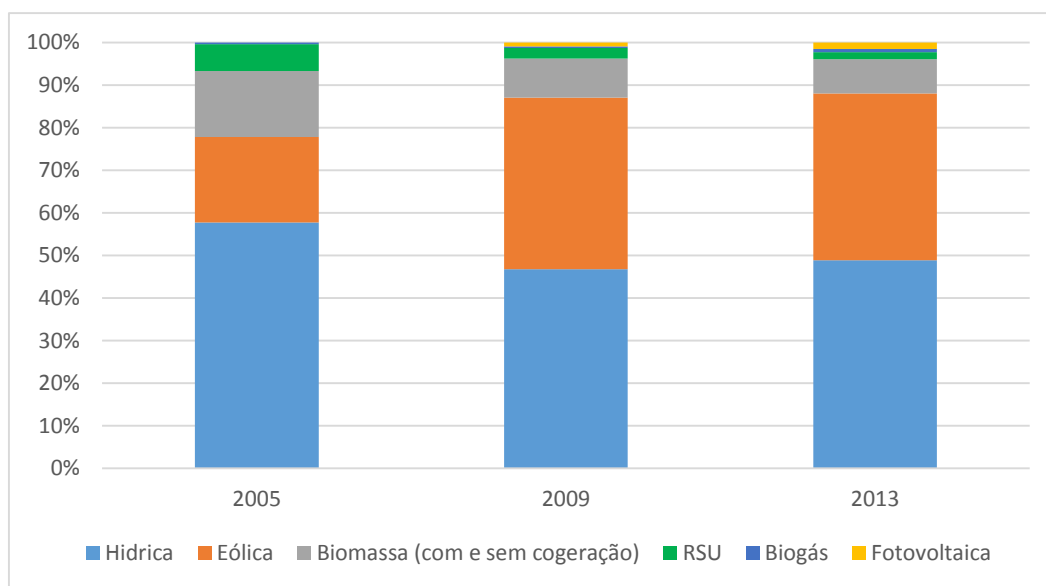


Figura 1.3 - Evolução do peso (%) da produção de cada tecnologia no total da produção de eletricidade em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).

Como se pode observar na figura seguinte, a produção de energia elétrica através de energia renovável em Portugal Continental ao longo dos anos tem sofrido uma evolução muito positiva. Observa-se também que a energia hídrica e eólica são as mais utilizadas, totalizando 88% do total de produção de eletricidade nacional em 2013 a partir de FER.

A figura 1.4 mostra também a discrepância entre, por exemplo, a energia hídrica e eólica e a fotovoltaica. Entre 2009 e 2013 produziram-se mais 6 TWh de energia a partir de centrais hídricas e 4,25 TWh a

partir de aerogeradores, enquanto no mesmo período, a partir de painéis fotovoltaicos, ou seja recorrendo a energia fotovoltaica, apenas foram produzidos 288 GWh.

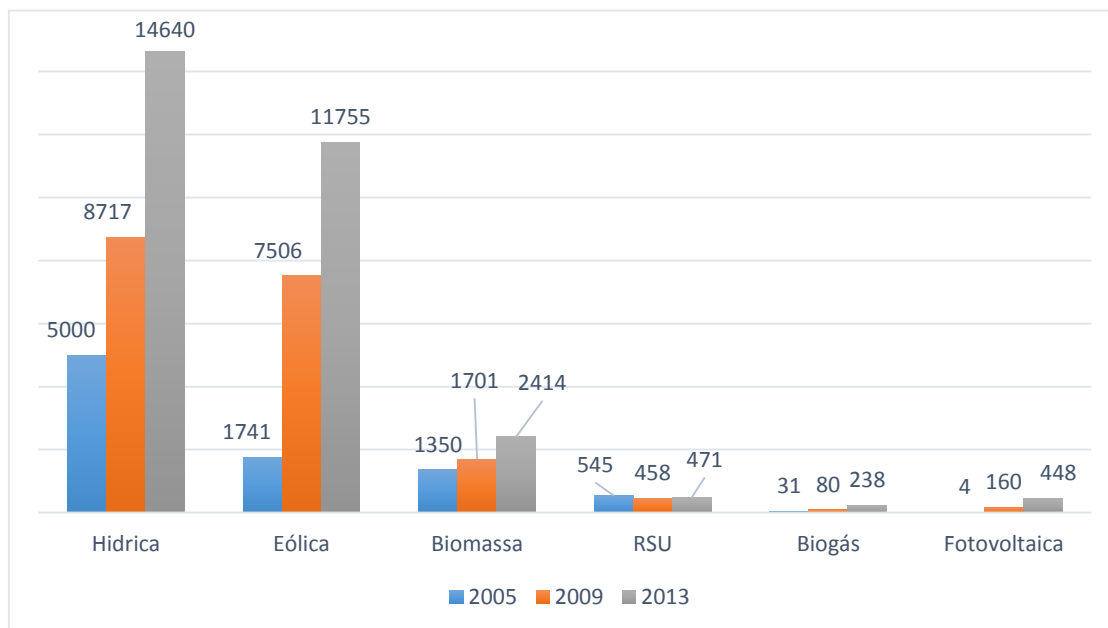


Figura 1.4 - Evolução da energia elétrica produzida através de energias renováveis (GWh) em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).

Existem diversas razões para que o mercado fotovoltaico em Portugal esteja pouco desenvolvido e tenha pouco peso no mercado elétrico renovável. São elas por exemplo a instabilidade das políticas do governo, a falta de medidas de incentivo assim como a falta de informação dos utilizadores e possíveis investidores (Jesus *et al*, 2005). Ainda assim tem-se notado uma evolução positiva ano após ano como se pode ver pela figura 1.5, esperando-se um aumento significativo com a regulação da produção de eletricidade para auto-consumo.

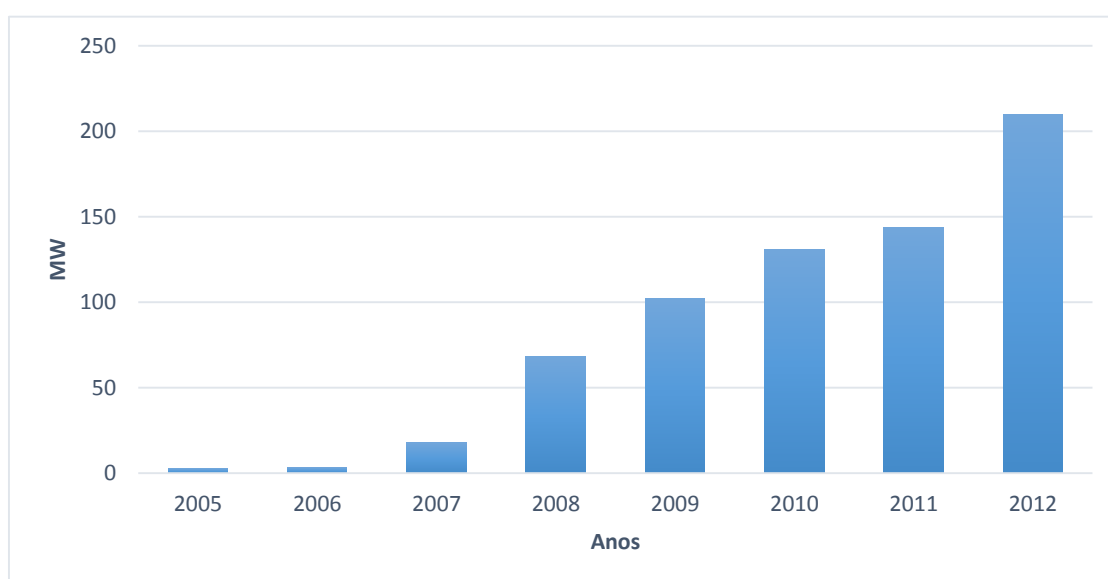


Figura 1.5 - Energia fotovoltaica instalada cumulativa (MW) em Portugal (adaptado de IEA, 2013).

Recorrendo à tabela 1.2, pode-se observar que a energia fotovoltaica, foi de longe o tipo de energia renovável que apresentou, entre 2005 e 2013, uma maior taxa de crescimento média anual (TCMA) de potência total instalada para produção de energia elétrica, com um valor de 76,9%.

Tabela 1.2 - Evolução histórica da potência total instalada em renováveis (MW) em Portugal Continental (adaptado de DGEG, 2013b).

	2005	2009	2013	TCMA¹ (%)
Hídrica	4 752	4 821	5 540	1,9
Eólica	1 047	3 519	4 630	20,4
Biomassa	369	460	465	32,2
RSU	88	88	88	0,1
Biogás	8,2	20	64,7	29,5
Fotovoltaica	2,9	104,1	277,9	76,9
Total	6267	9011	11066	7,4

1 - TCMA - Taxa de crescimento média anual entre 2005 e 2013

Pode-se ainda observar através da mesma tabela, a fraca taxa de crescimento da potência instalada da componente hídrica, neste período, a mais baixa, a seguir aos Resíduos Sólidos Urbanos. Esta fraca evolução aponta para uma estagnação deste tipo de aproveitamento de energia devido ao facto do forte investimento em energia hídrica ter começado muito antes de 2005 e de a maioria das centrais terem sido construídas antes dessa data.

Ainda no período compreendido entre 2005 e 2013, numa perspetiva geral, a potência total instalada a partir de FER teve um crescimento de 7,4%. Esta potência instalada tem a sua maior expressão no Norte do país, em cidades como Viseu, Coimbra, Vila Real, Guarda, Leiria e Braga. No entanto existe também uma forte concentração desta potência em Lisboa, Castelo Branco e Faro (DGEG, 2013b).

Relativamente à energia fotovoltaica, esta tem a sua maior expressão naturalmente no centro e no Sul do país, com grande ênfase no Baixo Alentejo, zona onde existe uma grande concentração de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica, como se pode ver na tabela 1.3.

Tabela 1.3 – Exemplos de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica em Portugal.

Região	Concelho	Nome	Potência Instalada (MWp)	Produção (GWh/ano)	Fonte
Baixo Alentejo	Serpa	Central Fotovoltaica Hércules	11	18	Catavento, Produção de energia, SA, 2007)
	Moura	Central Fotovoltaica de Amareleja	45,78	93	(Amper Central Solar, SA, s.d.)
	Ferreira do Alentejo	Central Solar de Ferreira do Alentejo	12	21	(Generg, 2012)
			1,8	3,1	(Netplan Telecomunicações e Energia, SA, 2011)
	Mértola	Central Pão e Água	0,644	1,3	(Cavalum SGPS, SA, s.d.)
		Central Sol Poente	2	3,8	
Norte	Freixo de Espada à Cinta	Central de Lamelas	0,108	0,16	(Netplan Telecomunicações e Energia, SA, 2011)
	Valadas - Ferreira do Zêzere	Central de Valadas	0,360	0,5	
Centro	Alcochete	Central de Alcochete	0,177	0,32	(MARL Energia - Central Fotovoltaica, SA, 2009)
	Lisboa	Central do MARL - Mercado Abastecedor da Região de Lisboa	6	-	

1.2. Âmbito e Objetivos

Esta dissertação tem como âmbito dois aspetos relativos ao aproveitamento da energia solar para produção de eletricidade: (1) análise espacial das áreas rurais do território pertencente ao Município de Évora com vista à avaliação da disponibilidade em termos de ocupação do solo, e (2) análise tecnológica de produção centralizada de dois tipos de tecnologia solar fotovoltaica, PV sem concentração e CPV, com vista à estimativa do potencial técnico de produção de eletricidade.

A motivação para a elaboração deste trabalho enquadra-se no projeto InSmart (projeto FP7, financiado pela Comissão Europeia) que tem como caso de estudo o Município de Évora, razão que justifica o caso de estudo. Ainda como motivação, deve ser referida a importância das energias renováveis no panorama energético global e o elevado potencial solar existente em Portugal.

O objetivo geral desta dissertação é avaliar o potencial técnico de capacidade instalada (MW) e de produção (GWh/ano) de energia solar fotovoltaica para dois tipos de tecnologias, CPV e PV na área rural do Município de Évora.

Como objetivos adicionais, pretende-se perceber se o potencial existente é favorável para investimentos em projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica de larga e média escala na zona de estudo. Pretende-se também identificar quais as melhores zonas, consoante o objetivo em termos de quantidade de energia produzida e desta forma contribuir com informação específica para o processo de decisão do ponto de vista do investidor. Desta forma, existem três questões essenciais que este estudo responde:

- I) Qual a área disponível para implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável?
- II) Qual a área útil para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica, tendo em conta duas tecnologias distintas?
- III) Qual o potencial solar fotovoltaico de capacidade instalada e de produção de energia?

Estas três questões são respondidas para o Município de Évora, tendo-se recorrido a sistemas de informação geográfica, por forma a perceber qual a área disponível em função dos serviços de planeamento territorial. A ferramenta que suportou a análise da área de estudo e consequentemente a avaliação do potencial solar fotovoltaico nas áreas rurais foi o Arcgis, um programa de tratamento de dados de informação geográfica que permite lidar com variáveis de natureza espacial (ex: declive, áreas condicionadas, exposição solar). Esta ferramenta é muito útil para tomadas de decisão e gestão do território, nomeadamente para o planeamento de projetos de sistemas fotovoltaicos, quer em áreas rurais quer em áreas urbanas (Voivontas *et al*, 1998).

Esta dissertação é constituída por sete capítulos. O primeiro capítulo faz o enquadramento do tema, nomeadamente das perspetivas e tendências mundiais e europeias relacionadas com o uso de energias renováveis. Os objetivos que se pretendem alcançar e a estrutura/organização desta dissertação são aqui agregados. O segundo capítulo refere-se de forma geral, à energia solar e aos vários tipos de sistemas de aproveitamento existentes para produção de eletricidade, focando também pormenorizadamente os tipos de células fotovoltaicas, as componentes do sistema ao nível do solo quando em funcionamento, os tipos de estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e ainda uma análise geral dos preços deste tipo de sistemas.

O terceiro capítulo é referente à área de estudo, no qual são evidenciadas as suas características gerais. No quarto capítulo é descrita a metodologia de avaliação do potencial de produção de energia solar fotovoltaica no Concelho de Évora, que está apresentada de forma a responder às três questões que esta dissertação se propõe a responder. No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada fase da investigação, os quais são discutidos no capítulo seis. Por último, o capítulo sete sistematiza as conclusões e as limitações deste estudo e aconselha quais os desenvolvimentos futuros.

2. Energia Solar

2.1. Radiação Solar

O Sol encontra-se a uma distância aproximada de 150 milhões de quilômetros da Terra, que é denominada por unidade astronômica. No entanto, apesar desta longa distância, a radiação solar demora aproximadamente 8 minutos a chegar à superfície da Terra, a uma velocidade de $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ (NASA, 2007). O planeta Terra é constantemente bombardeado por raios solares, raios estes que representam a maior fonte de energia do planeta Terra, indispensável para a existência de vida na Terra (Emilio, Kuhn, Bush & Scholl, 2012). No entanto apenas uma pequena parte (2 partes por milhão) da radiação atinge a superfície da Terra correspondente a $1 \times 10^{18} \text{ kWh/ano}$, não só devido à distância do Sol mas também devido a diversos fatores que a condicionam (GREENPRO, 2004).

Existem três formas de transferir energia, condução, convecção e radiação. A radiação solar não é mais nem menos do que a transferência de energia através de ondas eletromagnéticas (Andrade, 2011). A radiação tem uma grande influência tanto no clima terrestre como na vida na Terra, tendo em conta que tanto a vida vegetal e animal como a humana dependem do calor proveniente do Sol. Pequenas variações na intensidade de energia solar podem provocar grandes mudanças ao nível regional e global do planeta Terra (Haigh, 2011).

Se tivermos em conta a temperatura do Sol (5800°K) e utilizarmos a equação de Stefan-Boltzmann, percebemos que a radiação emitida pelo Sol é cerca de $63 \times 10^6 \text{ W.m}^{-2}$. Energia esta emitida em todas as direções e não apenas na direção perpendicular à superfície (American Chemical Society (ACS), 2014 & Andrade, 2011).

2.1.1. Componentes da Radiação

A radiação solar que consegue chegar à superfície da Terra, depois de atravessar a atmosfera, sem sofrer qualquer perda por dispersão ou absorção, é denominada por radiação direta ou irradiação normal direta (DNI), medida num plano perpendicular à linha de incidência da radiação. Já a radiação que não chega à superfície terrestre, devido à interação, quer por difusão, quer por dispersão ou absorção, com a atmosfera, é denominada por radiação difusa, ou irradiação horizontal difusa (DHI) (GeoModel, 2014 & Myers, 2013). Do conjunto destas duas componentes, resulta a radiação solar total, recebida numa unidade de superfície horizontal, ou irradiação horizontal global (GHI) que se traduz na seguinte equação (Myers, 2013):

$$\text{GHI} = \cos \text{DNI} (\theta) + \text{DHI} \quad (1)$$

em que θ , corresponde ao ângulo de incidência do Sol na superfície, entre a normal ao plano e a direção a partir da base até ao Sol. O parâmetro GHI é considerado muito importante para o cálculo do

rendimento de um painel fotovoltaico na superfície terrestre e da avaliação da disponibilidade potencial de energia solar num dado local (Collares-Pereira, 1998).

Numa perspetiva de aproveitamento da energia solar, nomeadamente através de um painel fotovoltaico, caso este tenha uma orientação inclinada, em direção ao solo, é necessário adicionar outra componente à equação 1. Trata-se da radiação refletida pela superfície (R_g), a qual depende da natureza dessa superfície e do ângulo de incidência dos raios solares. Neste caso a equação passa a denominar-se por irradiação global inclinada (GTI) (Myers, 2013):

$$GTI = \cos \text{DNI} (\theta) + \text{DHI} + R_g \quad (2)$$

A radiação direta prevalece nos dias de céu limpo, contudo quando os dias apresentam uma maior nebulosidade (em especial no Inverno), a radiação é maioritariamente difusa. No caso de Portugal, tendo em conta as condições climáticas de que usufrui, a percentagem de radiação difusa anual em relação à radiação direta, é respetivamente de 40% e 60% (GREENPRO, 2004). Através da figura 2.1 pode-se observar a variação de GHI existente em todo o mundo, com grande incidência a latitudes baixas.

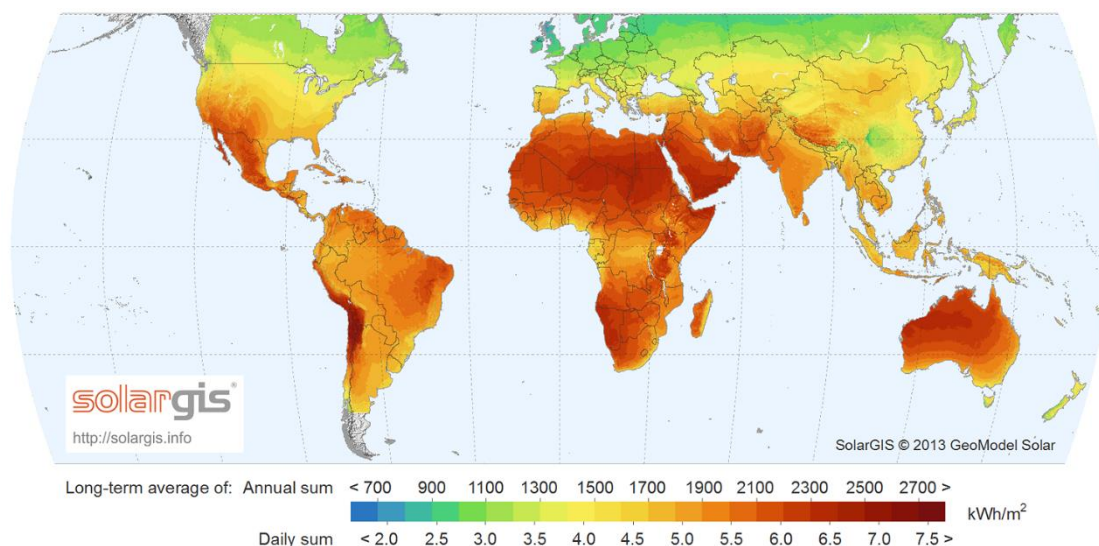


Figura 2.1 - Irradiação Global Horizontal (GHI) no mundo (GeoModel Solar, 2013).

2.1.2. Radiação solar no topo da atmosfera

Devido à distância entre o Sol e a o planeta Terra, a média de fluxo solar anual que chega à atmosfera terrestre corresponde a $1\,370 \text{ W.m}^{-2}$ (ACS, 2014). Este valor é conhecido como constante solar, visto que teve um ciclo de variação de 0,1%, nos últimos 30 anos, ou seja, cerca de $1,3 \text{ W.m}^{-2}$ e segundo alguns investigadores de cerca de 1% nos últimos 400 anos. A constante solar pode ser definida como a quantidade de energia recebida no topo da atmosfera num plano perpendicular aos raios de Sol por unidade de tempo e por unidade de área (Kennewell & McDonald (s.d.)). Da energia solar que chega ao topo da atmosfera, devido à interação com esta, apenas 70%, aproximadamente $1\,000 \text{ W.m}^{-2}$, chegam à

superfície terrestre num dia de céu limpo (Collares-Pereira, 1998), devido aos fenómenos/processos de interação com a atmosfera.

Da radiação solar total que chega à superfície da Terra, aproximadamente 50% corresponde à região do infravermelho (724-2500 nm), 40% à região do visível (410-722 nm) e aproximadamente 10% à região do ultravioleta (300-400 nm). A superfície terrestre absorve principalmente radiação na região do visível, reemitindo na zona do infravermelho. Parte desta radiação emitida pela superfície terrestre é absorvida pela atmosfera ou é refletida novamente para a superfície podendo ainda conseguir passar através da atmosfera em direção ao espaço (Qiang, 2003).

A irradiância (W.m^{-2}) no topo da atmosfera depende da distância entre a Terra e o Sol e dos ângulos dos raios solares e é dada pela expressão seguinte (Qiang, 2003):

$$F = S \left(\frac{dm}{d} \right)^2 \cos \theta_0 \quad (3)$$

em que S representa a constante solar, e a fração (dm/d) representa a divisão entre a distância média e a distância atual da Terra ao sol. O ângulo do azimute solar depende da latitude, dia do ano, do tempo do dia e é dado por (Qiang, 2003):

$$\cos \theta_0 = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos h \quad (4)$$

onde λ representa a latitude, δ a declinação solar e h o ângulo horário. O nível de irradiação varia de região para região, no Equador por exemplo este valor pode exceder anualmente os 2 300 kWh/m² enquanto que por exemplo no Sul da Europa este valor ronda os 1 900 kWh/m². No caso de Portugal o valor de irradiação solar varia entre os 1 300 kWh/m² e os 1 800 kWh/m² (GREENPRO, 2004).

2.1.3. Variabilidade

Existe uma variação temporal e espacial da radiação solar que chega à superfície da Terra. A quantidade de radiação é o resultado de complexas interações entre a atmosfera e a superfície terrestre, destacando-se principalmente três fatores (Myers, 2013 & Hofierka & Šúri, 2002 & Remund, Wald, Lefèvre, Ranchin & Page, 2003):

1. Geometria da órbita da Terra em torno do Sol, revolução e rotação (distância Terra-Sol e orientação);
2. Topografia e vegetação (inclinação, ensombramento e elevação);
3. Atenuação por parte da atmosfera (absorção, difusão e reflexão)

O planeta Terra possui três tipos de variações cíclicas. A primeira variação está relacionada com a órbita da Terra em torno do Sol, conhecida por excentricidade, que demora um ano a completar uma volta. A

órbita da Terra varia entre uma órbita quase circular e uma ligeiramente elíptica, apesar de ser num período muito alargado, cerca de 100 000 anos (Pidwirny, 2013).

A energia solar recebida no topo da atmosfera é dependente da excentricidade orbital. A diferença entre o periélio (ponto mais próximo da Terra ao Sol), que ocorre na primeira semana de Janeiro e o afélio (ponto mais distante da Terra ao Sol) que ocorre na primeira semana de Julho, é de aproximadamente 4 km, o equivalente a 3% de diferença (Myers, 2013). Contudo quando a órbita tem uma forma ligeiramente elíptica, ou seja quando a variação entre o periélio e o afélio é máxima, aproximadamente 9%, a diferença de energia solar recebida no topo da atmosfera é de 20% (Pidwirny, 2006).

O segundo tipo de variação do planeta Terra, está relacionado com o facto de girar em torno do seu próprio eixo, uma vez em cada 24 horas, período este denominado por dia solar. Já o terceiro tipo de variação cíclica, é derivado da existência de uma variação da inclinação do eixo de rotação da Terra. Neste momento o eixo da Terra possui uma inclinação de $23,5^\circ$ em relação ao plano da órbita da terra, sendo esta uma das causas da sazonalidade climática que se sente. Mas durante um período de 41 mil anos esta inclinação pode variar entre $22,5^\circ$ e $24,5^\circ$. Esta inclinação é responsável por diferenças de local para local durante o ano, entre o posicionamento do nascer e pôr-do-sol no horizonte, o seu caminho e a sua duração (duração do dia em horas) (Myers, 2013).

Quando existe uma variação climática mais acentuada entre o Verão e o Inverno, nomeadamente nas latitudes médias e altas, é porque a inclinação do eixo da Terra é maior, originando verões mais quentes e invernos mais rigorosos (Pidwirny, 2006).

Um outro fenómeno que causa uma grande variação na quantidade de energia solar que chega à superfície da Terra, é a interação entre os raios solares e os constituintes da atmosfera. A radiação ao entrar na atmosfera terrestre sofre inúmeras interações, diminuindo a sua intensidade, interações estas devidas a vários fenómenos, tais como: reflexão difusa, em superfícies como nuvens, solo vegetação e água; reflexão especular, em superfícies lisas como água ou gelo; dispersão, em moléculas, dando origem ao céu azul e céu vermelho, ou em poeiras, neblina; absorção, devido à presença de nuvens, aerossóis, poeira, gases e água; refração, em partículas de água existentes na atmosfera, dando origem ao arco-íris; difração; dispersão; polarização; (Wild & Blatter 2014)

Os fenómenos de absorção, difusão e reflexão, são os principais responsáveis pela atenuação da radiação solar ao longo da atmosfera. No caso da absorção, esta traduz-se num processo de conversão da energia radiante numa outra forma de energia. O nível de absorção por parte dos constituintes da atmosfera varia consoante o comprimento de onda. O ozono e o vapor de água são considerados os principais agentes absorvedores da radiação solar. Entre as bandas do espectro solar, a banda do visível, é a menos absorvida pelos constituintes da atmosfera, sendo portanto o tipo de radiação que mais consegue passar e ser consequentemente absorvida pela superfície terrestre. Relativamente ao fenómeno de difusão, este consiste num processo de redistribuição de energia sobre as partículas, que depende da proporção entre

o diâmetro das partículas atmosféricas e o comprimento de onda da radiação. Já o fenômeno de reflexão, pode ser de dois tipos, especular ou difusa. Para a reflexão ser especular, com uma direção bem definida, é necessário que as dimensões do refletor sejam maiores que o comprimento de onda da radiação ou que a profundidade das irregularidades da superfície seja menor que o comprimento de onda da radiação. Caso contrário, a reflexão será difusa (Andrade, 2011).

2.2. Sistemas de aproveitamento de energia solar

A energia proveniente do Sol é captada pelo sistema terrestre, sendo responsável pelos ciclos hidrológicos, pelo crescimento das plantas e consequentemente dos animais assim como pela origem dos ventos. Desta forma o Sol é também responsável, mesmo que indiretamente, pela existência da maioria das formas de energia existentes como é o caso por exemplo da energia hídrica, eólica e biomassa. É também responsável pela existência das energias não renováveis como o petróleo, o carvão e o gás natural, visto que se formam a partir de resíduos de plantas e animais que obtiveram energia da radiação solar para se manterem vivos e se desenvolverem (CPEE, 2006).

A energia solar é aproveitada para produzir outro tipo de energia, como a elétrica ou calorífica. Existem dois tipos principais de tecnologias para aproveitamento de energia solar, um com o objetivo de produzir eletricidade, o sistema fotovoltaico, outro com o objetivo de aquecer ou águas sanitárias ou o ar ambiente, o sistema solar térmico (Herzog, Lipman & Kammen, 2001 & Taylor, 2006).

2.2.1. Solar térmico

2.2.1.1. Solar térmico para aquecimento ambiente e águas sanitárias

No sistema solar térmico para aquecimento ambiente e das águas sanitárias o objetivo passa por captar e armazenar uma quantidade de energia, sob a forma de calor, absorvida por um determinado material aquando a incidência dos raios solares. Este material é chamado de placa absorvedora e comporta-se como um corpo negro, absorvendo toda a radiação que lhe incide, não refletindo nada. O calor absorvido e armazenado servirá posteriormente para aquecer um fluido de transferência térmica (líquido ou gasoso), que se encontra armazenado em tubos, o qual é mantido num reservatório ou acumulador de energia até ser usado (GREENPRO, 2004 & CPEE, 2006).

Estes tipos de sistemas podem ser divididos em duas categorias tendo em conta o objetivo final, o solar térmico para aquecimento de água e o solar térmico para aquecimento do ar de habitações, ventiladores comerciais e secagem de colheitas. É claro que estes dois tipos de sistemas têm diferenças ao nível estrutural, visto que um aquece água e o outro o ar que provém do espaço exterior (Taylor, 2006).

O sistema solar térmico para aquecimento do ar ambiente pode ser dividido em dois outros sistemas, o sistema ativo e o sistema passivo, tendo em conta o modo como foram incorporados na estrutura habitacional. O sistema ativo requer equipamentos para captar e armazenar energia ao contrário do sistema passivo que foi incorporado previamente na estrutura habitacional. Este último é também chamado de sistema coletor polimérico integrado, em inglês PICS. O sistema ativo pode para além do típico sistema de aquecimento de água também comportar-se como um sistema combinado de aquecimento e refrigeração, em inglês CHC (NREL, s.d.).

2.2.1.2. Solar térmico de concentração para produção de eletricidade (CSP)

A energia solar térmica para produção de eletricidade ou energia solar concentrada (CSP), produz energia de uma forma idêntica às centrais térmicas convencionais, sendo que a única diferença se situa na energia primária que utiliza. Estas em vez de combustíveis fósseis, utilizam o Sol como fonte de energia para aquecer um gás ou um líquido. Este fluido de trabalho (ex. água, óleos sintéticos, sais fundidos, ar, hélio) aquecido pela radiação solar concentrada vai movimentar, através da sua força, uma turbina acoplada a um gerador, produzindo assim eletricidade. Este tipo de aproveitamento é muito eficiente (30 - 40%) e é capaz de produzir entre 10 a 100 MW de energia (eSolar, Abengoa Solar, Acciona, Ausra, BrightSourceEnergy & Schott Solar, 2008 & Silva, 2010).

Para além destas vantagens, tem ainda um baixo custo de produção de eletricidade, sendo o único problema o facto de precisar de elevadas concentrações de radiação direta normal (DNI) e de requerer mais terreno por MW instalado, que os restantes tipos de energia (4,1 ha/MW) (Ong, Campbel, Denholm, Margolis & Heath, 2013 & Silva, 2010). Este tipo de tecnologia está dividido em três tipos de sistemas: (Silva, 2010):

- Sistemas de Concentração Linear: utilizam tubos ao longo do foco da superfície refletora do tipo cilindro parabólico ou Fresnel linear, sobre os quais se concentram a radiação solar.
- Sistema de Concentração Pontual de Torre: este sistema é composto por um campo de espelhos sobre os quais incide a radiação solar e é posteriormente refletida para uma torre central recetora.
- Sistema de Concentração Pontual de Disco/Stirling: utiliza um refletor parabólico de revolução, para concentrar a radiação solar num receptor térmico.

A tecnologia de concentração linear do tipo Fresnel linear é, destas tecnologias, a que requer menos área por MW de potência instalada, cerca de 1,90 MW/ha. Ao passo que o sistema de Concentração linear do tipo cilindro parabólico e os dois sistemas de concentração pontual de Torre e de Disco/Stirling requerem, 3,84 ha/MW e 4,1 ha/MW, respetivamente (Ong *et al*, 2013).

2.2.2. Solar fotovoltaico

2.2.2.1. Sistema fotovoltaico sem concentração (PV)

Um sistema PV tem a particularidade de converter em eletricidade a radiação solar a partir do efeito fotoelétrico, não utilizando o seu calor, como no caso dos sistemas solares térmicos. Neste caso, a partir da interação entre a radiação solar e os materiais semicondutores nas células fotovoltaicas, é produzida eletricidade através da formação de uma corrente elétrica (NREL, 2003). O efeito fotoelétrico foi descoberto pela primeira vez por Edmund Becquerel, em 1839, ao perceber que ao mergulhar placas metálicas de platina ou prata num eletrólito era produzida uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (Proença, 2007).

No sistema fotovoltaico existe uma célula solar, composta por duas camadas de silício, cada uma delas “dopada” com uma pequena percentagem de um material diferente, usualmente átomos de Fósforo (camada de cima) e de Boro (camada de baixo), por forma a aumentar a condutividade do cristal de silício. Na junção das duas camadas é produzido um campo elétrico. Este campo elétrico leva à separação das cargas (elétrons e lacunas) que são libertadas pela radiação solar. Para se formar eletricidade são colocados contactos metálicos tanto na parte frontal como na parte traseira da célula. Ao incidir na célula, a radiação provoca a separação dos portadores de carga, originando uma corrente, que se verificará, se existir um aparelho elétrico que a consuma (GREENPRO, 2004).

A parte superior da célula leva uma camada muito fina anti-reflexão composta por nitreto de silício ou por dióxido de carbono, por forma a não refletir a radiação incidente (GREENPRO, 2004). A tecnologia PV, excluindo o tipo de aproveitamento CSP do tipo Fresnel Linear, é a tecnologia de aproveitamento de energia solar que apresenta menores valores de necessidade de área por MW de potência instalada. Para sistemas de pequena escala (< 20MW) a necessidade de área total é cerca de 3,36 ha/MW e para sistemas de grande escala (> 20MW) é de cerca de 3,20 ha/MW (Ong *et al*, 2013).

2.2.2.2. Sistema fotovoltaico de concentração (CPV)

Com o passar dos anos e com o desenvolvimento das investigações surgiu o sistema fotovoltaico de concentração (CPV), uma tecnologia mais eficiente, embora mais dispendiosa. A luz solar é altamente concentrada antes de chegar à célula, por um material ótico, normalmente um espelho ou uma lente Fresnel (IREA, 2012).

Em níveis de concentração médio-baixos a concentração da luz solar pode variar entre de 2 a 100 sóis, em termos de quantidade face à tecnologia tradicional, enquanto que para concentrações elevadas este nível de concentração pode chegar a atingir um fator de 1000 sóis. Por forma a garantir que a luz se mantém concentrada na célula com um grande nível de precisão durante todo o dia, proporcionando assim uma potência constante, aplica-se geralmente um sistema *tracking* de 2 eixos à estrutura de

suporte. Para concentrações baixas, é usual utilizar células de primeira geração de silício cristalino enquanto para sistemas de elevada concentração, acima de 500 sóis, são usadas as células de terceira geração Multi-junção III-V, ou junção tripla, mais eficientes (Heliotrop, 2014 & IRENA, 2012).

Um sistema CPV produz mais energia que um sistema usual PV, para o mesmo tamanho. Este tipo de sistemas tem também reduzidas necessidades de água assim como uma elevada flexibilidade em relação ao tamanho do sistema e um rápido tempo de construção. A tecnologia CPV é no entanto mais adequada para zonas com elevados níveis de radiação direta normal (DNI) como é o caso do Sul de Portugal e Espanha, onde já existem projetos a funcionar ou em fase de construção (Heliotrop, 2014 & EPIA, 2013). A figura 2.2 demonstra o aspeto de uma central fotovoltaica em funcionamento com tecnologia CPV.



Figura 2.2 – Sistema CPV (Gombert, 2009).

Em relação a necessidades de área por MW de potência instalada, esta tecnologia apresenta valores ligeiramente superiores ao sistema PV, cerca de 3,7 ha/MW e para sistemas de grande escala (> 20MW) cerca de 3,3 ha/MW (Ong *et al*, 2013). No entanto, das tecnologias solares, é a que tem menor impacto no solo, devido à sua estrutura afastada do solo pelo veio de suporte, sendo compatível com outros usos do solo, como evidencia a figura 2.3.



Figura 2.3 – Sistema CPV (Gombert, 2009).

A previsão segundo EPIA (2013), indica que a tecnologia CPV ganhará uma maior presença no mercado só a partir de 2015, prevendo a instalação, em termos de capacidade, de 1GW até 2017. Este é considerado o sistema mais maduro dentro dos sistemas emergentes (IEA-ETSAP & IRENA, 2013).

Relativamente à eficiência de um sistema CPV, à medida que a temperatura ambiente passa o nível dos 20 °C a eficiência do sistema CPV (15%) aumenta exponencialmente até aos 25%. Por outro lado, para um sistema PV com sistema *tracking*, quando a temperatura ambiente aumenta, a eficiência tende a estagnar (15%), diminuindo por vezes até aos 10% ou menos como se pode observar na figura 2.4.

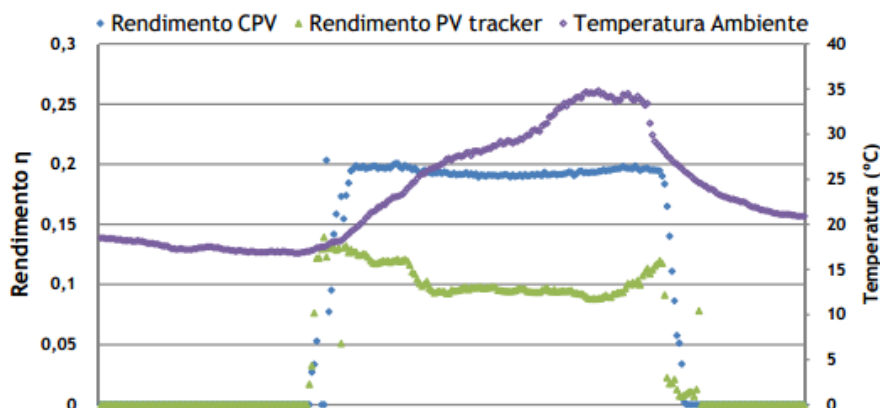


Figura 2.4 - Variação do rendimento com a temperatura para um sistema CPV e PV com *tracking* 2 eixos (Silva, 2010).

Na tabela 2.1 são apresentadas algumas das vantagens e desvantagens de quatro tecnologias fotovoltaicas, duas delas estudadas nesta dissertação, nomeadamente a tecnologia PV convencional (c-Si) e CPV.

Tabela 2.1 - Vantagens e desvantagens entre os diferentes tipos de tecnologias (adaptado de Soitec, 2014).

	CPV	PV convencional (c-Si)	PV Filme Fino	CSP
Vantagens	Eficiências elevadas em zonas com elevado DNI	Preço reduzido face à tecnologia CPV	Boa captura da radiação difusa	Possível armazenamento
	Pequenas perdas de calor	Tecnologia flexível para diferentes usos	Relativamente pequenas perdas de calor	Conceito híbrido
	Pegada ambiental reduzida			
Desvantagens	Precisa de elevados níveis de DNI	Perdas elevadas de calor	Sistema <i>tracking</i> não é viável	Precisa de elevados níveis de DNI
	Preço ainda elevado	Período longo de retorno do investimento	Degradação acelerada em ambientes com clima muito quente	Elevado consumo de água
				Redução de custos

Nenhum tipo de tecnologia de aproveitamento de energia solar é perfeito. As vantagens e desvantagens associadas a cada tipo de tecnologia, fazem com que cada uma delas seja mais apropriada para determinada situação, dependendo de inúmeros fatores, como por exemplo, do investimento inicial, da quantidade de radiação disponível, da área disponível e das necessidades de produção de energia.

2.2.3. Tipos de células fotovoltaicas

Existe uma grande diversidade de sistemas fotovoltaicos e é expectável que novos aparecerão no futuro. A tecnologia fotovoltaica, ao nível da célula pode ser dividida em três categorias, tendo em conta o material usado, o tempo de vida e consequente a sua maturidade no mercado (IRENA, 2012), e são as seguintes:

2.2.3.1. Sistemas fotovoltaicos de primeira geração

Este tipo de tecnologia teve o seu início produtivo por volta de 1963 através da empresa japonesa Sharp Corporation (IRENA,2012). O silício utilizado na maioria das células solares fotovoltaicas é, a par com o oxigénio, um dos elementos químicos mais utilizados no planeta Terra (GREENPRO, 2004).

Este tipo de sistemas encontra-se num patamar totalmente comercializável. Dentro desta categoria estão três tipos de células de Silício cristalino (c-Si) que variam na forma de fabrico das pastilhas de silício. Os três tipos de células são o Silício monocristalino (sc-Si), o multi-cristalino (mc-Si) e o EFG em fita (IRENA,2012).

Relativamente à eficiência, as células de sc-Si são as que apresentam maior eficiência (15-18%). As células de mc-Si por exemplo, apresentam uma eficiência mais baixa, entre 12-15% (Proença, 2007). Estas baixas eficiências estão relacionadas com perdas de energia derivadas de vários fatores. Através da figura 2.5 pode-se observar quais, e, qual a proporção destas perdas, tendo em conta a energia recebida e a energia produzida.

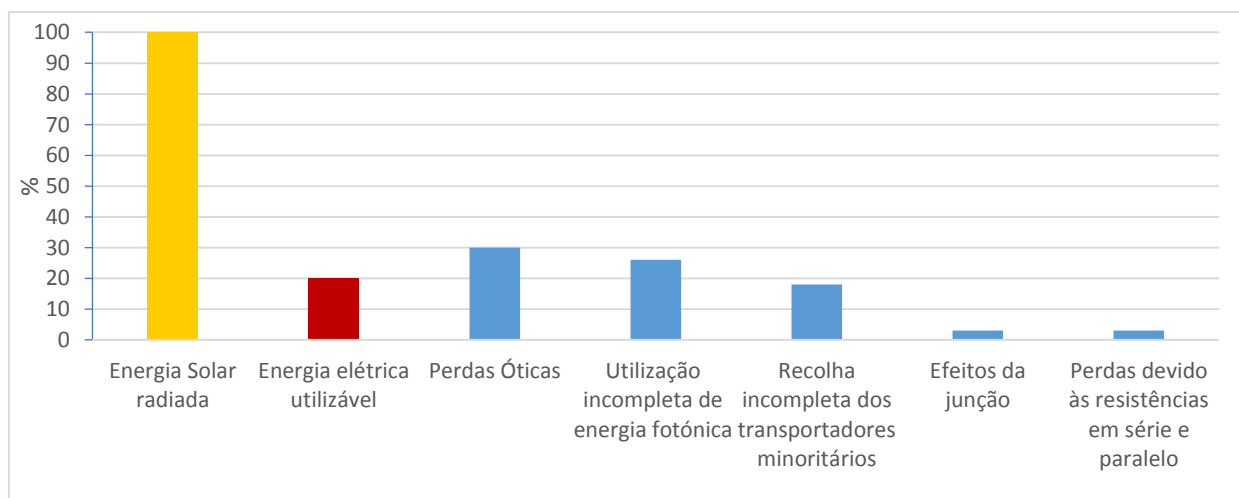


Figura 2.5 – Componentes do balanço energético de uma célula solar (c-Si) (adaptado de GREENPRO, 2004).

As células de c-Si, apesar do seu elevado preço de venda, consequência do seu exigente nível de pureza, da sua maturidade no mercado e da sua eficiência face a outros tipos de células, dominam o mercado dos painéis fotovoltaicos. No ano de 2012, aproximadamente 90% dos painéis solares instalados mundialmente eram constituídos por este tipo de células (Proença, 2007 & IRENA, 2012).

2.2.3.2. Sistemas fotovoltaicos de segunda geração

Este tipo de sistemas, também denominado por células de película fina (*Thin Film*), veio concorrer com as células de primeira geração, devido ao seu preço mais reduzido, tendo no entanto uma menor eficiência (5 – 7%) (Proença, 2007). Este valor de eficiência é um valor generalizado, pois existem alguns tipos de células de segunda geração com eficiências idênticas às de primeira geração.

Dentro deste tipo de células existem as células de Silício amorfo (a-Si), de Silício micro-amorfo, de Cobre -Índio -Selenito (CIS), de Cobre -Índio - Gálio- seleneto (CIGS) e por último as células de Telureto de Cádmio (Cd-Te). As células de a-Si e as células Cd-Te, são consideradas as mais desenvolvidas, independentemente da sua eficiência. Uma das vantagens das células de a-Si, é o facto de serem flexíveis, podendo ser instaladas em superfícies curvas, como coberturas e fachadas de edifícios (Proença, 2007 & IRENA, 2012).

Um dos problemas destas células, para além da baixa eficiência (4 a 8% no campo e 12,2% em lab.), prende-se com o facto da radiação solar degradar o seu desempenho ao longo do tempo, sofrendo uma redução significativa na produção de energia (15 - 35%). As células de filme fino de Telureto de Cádmio, conseguem atingir eficiências maiores do que as de a-Si tradicionais, cerca de 16,7%, o que faz deste tipo de células uma das mais económicas no mercado das tecnologias de segunda geração. No entanto, as células consideradas as mais eficientes, dentro desta categoria, são as células CIS (Cobre -Índio - Selenito) e CIGS (Cobre -Índio - Gálio- seleneto), com eficiências entre 7 e 16% e de 20,3% em laboratório. Apesar das elevadas eficiências tanto das células de CdTe como das CIS e CIGS, a célula mais utilizada no mercado é a de a-Si, isto porque as células CIS contêm Cádmio, um material perigoso e interdito na UE (IRENA, 2012).

2.2.3.3. Sistemas fotovoltaicos de terceira geração

Fazem parte desta categoria, as células sensibilizadas com colorante (DSSC), as células orgânicas e as células Multi-Junção (as mais eficientes do mercado global). Os dois primeiros tipos de células ainda se encontram em fase de desenvolvimento, ao contrário das células Multi-junção (MJ), mais maduras, pois já têm sido alvo de aplicação em diversos projetos (Kurtz, 2008).

- Células sensitivizadas com colorante (DSSC)

Este tipo de células ao contrário das restantes, utilizam uma técnica foto-eletróquímica baseada na formação de estruturas semi-condutoras entre um ânodo e um eletrólito. Este tipo de células tem eficiências muito baixas, próximas dos 4 a 5%, sendo que em laboratório já chegaram aos 12%. Estas baixas eficiências estão relacionadas com o facto de existirem poucos colorantes com uma ampla gama de absorção espectral. Outras desvantagens deste tipo de células tem a ver com o seu desempenho, que se vai degradando ao longo do tempo com a exposição à luz UV assim como com o facto do eletrólito líquido poder congelar. No entanto, apesar destes pontos negativos, este tipo de células, acaba por ser requisitado devido ao seu baixo preço (IRENA, 2012).

- Células Orgânicas

As células orgânicas são constituídas por compostos orgânicos ou material polimérico. Tal como as células DSSC, estas células também têm um baixo preço e uma eficiência de sistemas comerciais idêntica (4 – 5%). Uma das vantagens deste tipo de células, além do seu baixo preço, tem a ver com o facto de o material não ser tóxico como outros e com a sua flexibilidade, em termos de aplicação sobre vários tipos de material. Um dos fins da sua possível futura aplicação será como carregador de baterias de telemóvel ou de computadores (IRENA, 2012).

- Células Multi-Junção (III-V)

Este tipo de células de terceira geração consistem numa pilha de camadas de junções p-n, cada uma com um conjunto de semicondutores diferentes. Cada uma destas camadas tem uma *band gap* e uma absorção espectral diferente, por forma a absorver o máximo possível o espectro da radiação solar. As siglas III-V provêm do facto dos materiais semicondutores utilizados serem dos grupos III e V da tabela periódica. Através desta técnica é possível capturar uma gama mais alargada do espectro da radiação incidente, ao contrário das células convencionais de c-Si que convertem uma zona limitada do espectro. Os materiais semicondutores, mais utilizados, são por exemplo o Ge, GaAs, InGaAs, InGaP (IRENA, 2012).

Assim, este tipo de células consegue atingir níveis de eficiência superiores a 40% ,em laboratório, como se pode ver na figura 2.8 e entre 35 a 39% no campo, quase duas vezes superior à eficiência das células de silício convencionais (GeoModel Solar, 2014 & IRENA, 2012). Uma desvantagem das células MJ é o facto de dependerem da radiação direta e terem baixas eficiências para concentrações baixas, comparativamente à eficiência máxima atingida com condições ótimas, ou seja, com concentrações elevadas (Soitec, 2014). Este tipo de células, foi no início muito utilizado em aplicações espaciais, devido ao facto de apresentarem elevadas eficiências para pequenas áreas quando sujeitas a uma grande concentração de radiação solar. Nos dias que correm, este tipo de células já começa a ser utilizado em aplicações terrestres, nomeadamente em sistemas CPV de alta concentração (acima de 500 sóis). (IRENA, 2012).

Como se pode observar na figura 2.6, as células MJ são o tipo de células que apresentam uma maior eficiência, com uma diferença muito acentuada face às restantes. Estas surgiram aproximadamente em 1983 e desde 1988 até aos dias de hoje são as células com maior eficiência registada, chegando em 2014 a um recorde de 44,7% em laboratório. Logo a seguir às células MJ, estão as células feitas a partir de Silício monocristalino com eficiências a rondar os 25%, as quais sofreram uma pequena evolução de Silício monocristalino com eficiências a rondar os 25%, as quais sofreram uma pequena evolução desde que foram criadas, aproximadamente 10%.

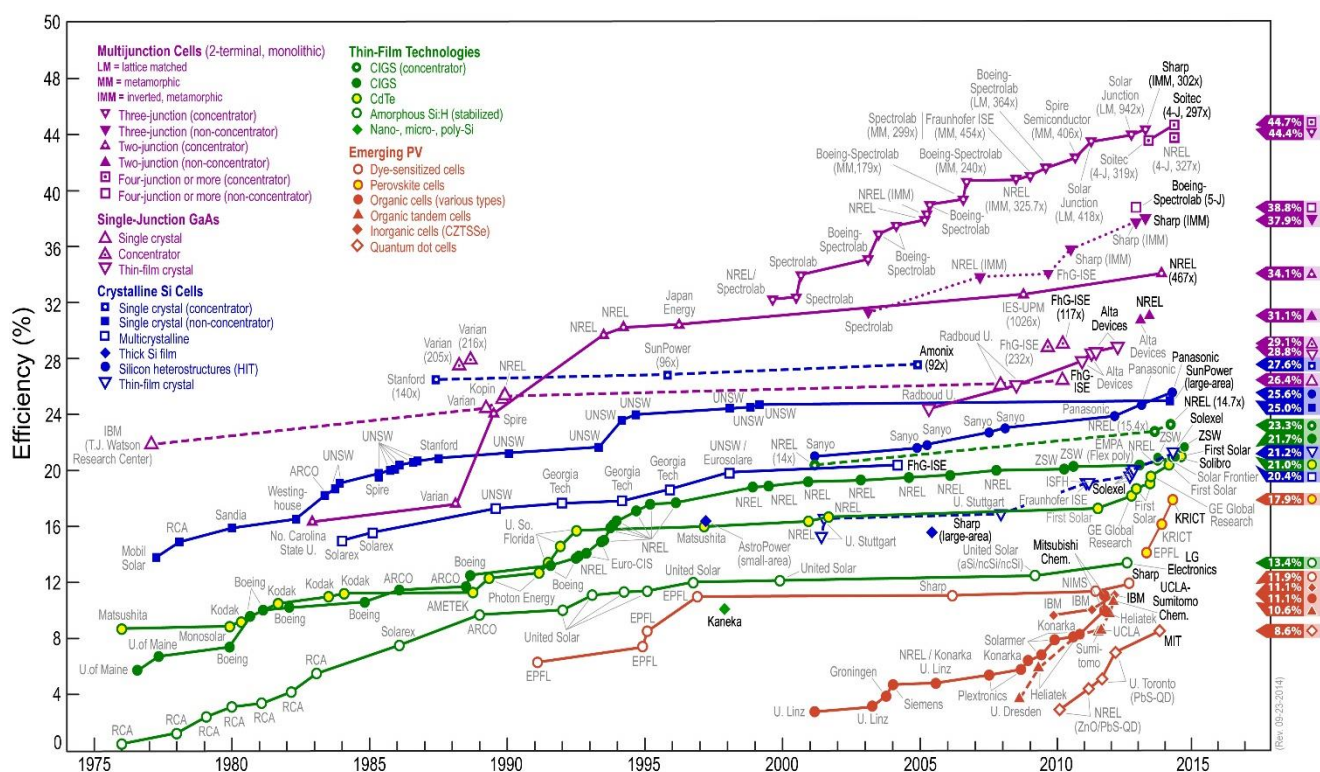


Figura 2.6 - Evolução da eficiência das células fotovoltaicas (NREL, 2014).

O rendimento é um dos pontos negativos dos sistemas fotovoltaicos. É neste tema que a indústria fotovoltaica mais tem interesse em que a comunidade científica encontre melhores soluções. A eficiência varia naturalmente consoante o tipo de célula, mas também, se é testada em laboratório, no terreno e se é fabricada em série, como se pode ver na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Comparação da eficiência para vários tipos de células (adaptado de GREENPRO, 2004).

Material da célula	Eficiência (%) da Célula (Laboratório)	Eficiência (%) da Célula (Produção)	Eficiência (%) da célula (Produção em série)
Silício monocristalino	24,7	18	14
Silício policristalino	19,8	15	13
Células de silício policristalino EFG	19,7	14	13
Silício crristalino de pelicula fina	19,2	9,5	7,9
Silício amorfo*	13	10,5	7,5
Silício microamorfo*	12	10,7	9,1
Célula solar hibrida	20,1	17,3	15,2
CIS, CIGS	18,8	14	10
Telureto de Cádmio	16,4	10	9
Semicondutor III-V	35,8 **	27,4	27
Célula sensibilizada com colorante	12,0	7	5 ***

* no estado estável

** medida com um fluxo concentrado de radiação

*** séries de produção limitada

2.2.4. Componentes de um sistema fotovoltaico ao nível do solo

Um sistema fotovoltaico sem concentração não é apenas composto por um painel solar. Apesar de constituir a peça mais importante do sistema, esta não é utilizável sem as outras componentes do sistema (International Finance Corporation, 2012):

- Estrutura de fixação - esta estrutura não só permite que o painel esteja fixo ao solo, mas também escolher um determinado ângulo de inclinação, fixo, por 1 ou 2 eixos, ou ainda possuir um sistema inteligente por forma a seguir o Sol (sistema *tracking*).
- Sistema de ligação à rede - é através deste sistema que a eletricidade é distribuída entre o sistema fotovoltaico e o ponto de consumo.
- Pequena escala, ligado à rede (IFC, 2012):
 - Inversores - estes transformam a energia proveniente do painel, em forma de corrente contínua (DC), para corrente alternada (AC). Em projetos de pequena escala, como residências, o módulo fotovoltaico precisa de estar ligado a um inversor. Este passo é necessário uma vez que a maioria dos aparelhos estão preparados para receber corrente alternada. Neste tipo de instalações residenciais, o inversor produz uma corrente

alternada de duas fases e a saída do inversor está normalmente ligada à rede através de um contador.

- *Tracker* de ponto de potência máxima (MPP) - este dispositivo assegura que o módulo opera sempre à potência máxima. A maior parte dos inversores já vêm com este tipo de dispositivo.
- Proteção contra picos - a maior parte dos inversores também já vem com este tipo de proteção, no entanto esta proteção não é suficiente quando a distância entre o módulo e o inversor é superior a 10 metros. Nestes casos é aconselhável um dispositivo de proteção extra.
- Grande escala, ligado à rede (IFC, 2012):
 - Box de junção - em sistemas de larga escala, os vários módulos estão ligados através de uma caixa deste género, a qual também proporciona proteção contra picos.
 - Interruptor DC - o sistema fotovoltaico deve estar separado do inversor através de um interruptor DC perto do conversor, o qual permite a realização de trabalhos de manutenção ou reparação no sistema.
 - Inversor - neste tipo de instalações o inversor produz provavelmente uma corrente alternada de três fases, comum em instalações industriais.
 - Transformadores - por vezes a corrente de saída dos inversores, precisa de um aumento ligeiro de tensão por forma a atingir o nível específico de tensão da rede.
 - Interruptor AC - Este desliga automaticamente a ligação à rede caso sejam detetadas mudanças na frequência ou na corrente, mantendo assim um nível de segurança importante.

2.2.5. Módulos fotovoltaicos

Em condições *Standard Test Conditions* (1000W/m^2 ; 25°C ; AM1.5), uma célula de silício com uma dimensão normal de 10 cm^2 , possui uma potência máxima de 1,25 W. Esta potência torna-se inútil para a maioria dos fins domésticos, sendo portanto necessário ligar entre si, um conjunto determinado de células, dando origem a uma estrutura denominada por módulo fotovoltaico. Um módulo PV é composto, de uma forma geral, por cerca de 36 células de silício cristalino em série (Resende, 2003). Vários módulos são também posteriormente ligados eletricamente entre si em paralelo ou em série, formando o chamado painel solar, por forma a conseguir extrair um limite de potência mínimo que seja economicamente viável. Um painel solar típico, constituído por c-Si, pode converter anualmente $100\text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ (Walker *et al*, 2010).

Os painéis fotovoltaicos são instalados em estruturas que os elevam do solo, protegendo-os e otimizando a sua produção através de um determinado ângulo de inclinação, geralmente 30° , face ao plano horizontal e com uma determinada orientação ou azimute (preferencialmente a Sul), os quais variam

consoante o local de instalação. Existem *softwares* cujo objetivo é determinar, dependendo das especificações do local, quais os melhores ângulos de inclinação e orientação a utilizar. Existem também valores padrão para estes ângulos que variam consoante a zona geográfica do local escolhido. Desta forma, a irradiação anual total incidente, ou seja, a energia solar recebida sobre uma unidade de área de superfície, e consequentemente a produção total de energia, serão maximizadas (IFC, 2012 & GREENPRO, 2004). Na tabela 2.3 são representados os diversos tipos de módulos fotovoltaicos existentes, tendo em conta diversas variações ao nível de várias componentes que o constituem sem ter em conta a variação existente ao nível do tipo de célula.

Tabela 2.3 - Tipos de módulos fotovoltaicos consoante as variações ao nível das várias componentes (GREENPRO, 2004).

Tipos de módulos			
Material de encapsulamento	Tecnologia do substrato	Estrutura da armação	Funções específicas de construção
<ul style="list-style-type: none"> - Módulos Teflon; - Módulos de Resina Fundida; 	<ul style="list-style-type: none"> - Módulos película-película (flexíveis); - Módulos vidro-película (ou módulos de vidro-Tedlar); - Módulos metal-película; - Módulos de plástico acrílico; - Módulos vidro-vidro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Módulos com armação; - Módulos sem armação (módulos laminados). 	<ul style="list-style-type: none"> - Módulos de vidro de segurança endurecido; - Módulos de vidro de segurança laminado; - Módulos de vidro isolante; - Módulos de vidro isolante para coberturas de vidro; - Módulos de vidro laminado.

2.2.5.1. Tipos de estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos

Os tipos de estruturas existentes podem ser divididas em estruturas fixas e móveis (*tracking*), exemplificadas na figura 2.7. As estruturas fixas, tal como o nome indica, implicam também um ângulo de inclinação fixo, variando apenas manualmente. Este tipo de estrutura é mais simples, menos dispendiosa e requer menos solo disponível, aproximadamente 2 ha/MW de potência instalada. No entanto, possui um fator de produtividade mais baixo, visto que o ângulo de inclinação é fixo e não segue o movimento de rotação do Sol (IFC, 2012 & Ong *et al*, 2013).

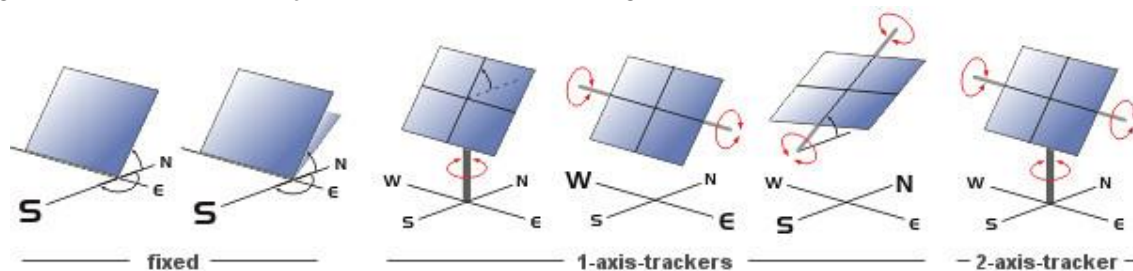


Figura 2.7 - Tipos de estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos e exemplificação das suas rotações (GeoModel Solar, 2014).

As estruturas *tracking* (móveis), tal como o nome indica seguem o movimento de rotação do Sol. Desta forma os painéis fotovoltaicos estão constantemente alinhados perpendicularmente com os raios solares, produzindo assim mais energia. Depende sempre das características do local e do sistema, mas, por norma a produção de energia aumenta entre 25% e 40% (Sanchez, 2009).

Estes sistemas podem ser de 1 eixo ou de 2 eixos. O sistema de 1 eixo, apenas permite uma rotação referente ao ângulo de incidência ou ao ângulo de orientação, o que pode levar, consoante as características do local a um aumento do rendimento anual até 27%. Já o sistema de 2 eixos, permite uma rotação referente aos dois ângulos, o que pode levar a um aumento do rendimento em 37%, sendo portanto mais eficaz na sua função do que o primeiro (IFC, 2012).

Relativamente à instalação de estruturas fixas ou de *tracking*, faz sentido por forma a obter a maior eficiência, que a zona de implementação do sistema tenha um céu “totalmente aberto”, sem obstáculos no horizonte que provoquem sombra (IFC, 2012).

Como se pode observar através da figura 2.8, o mês de Julho representa o mês com maior produção de energia, para a maioria dos sistemas, exceto para o sistema PV fixo a 39° que apresenta um pico de máxima produção, homogêneo, durante vários meses. Pode-se verificar também que um painel fixo na horizontal tem uma menor produção anual de energia que um painel com um ângulo de inclinação de 39°. Como seria de esperar os sistemas *tracking*, representados com as cores verde e azul, produzem mais energia que os sistemas PV fixos. No entanto, no início e no fim do ano, nomeadamente em Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro o sistema fixo (39°) ultrapassa ligeiramente a produção do sistema *tracking* de 1 eixo.

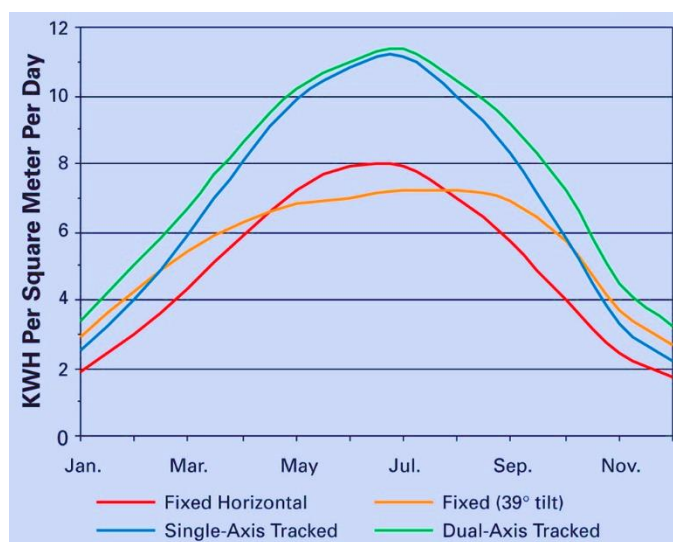


Figura 2.8- Performance de sistemas PV fixos contra sistemas *tracking* durante todo o ano (Mayfield, 2008).

A tabela 2.4 fornece uma visão geral da produção de energia de diferentes tipos de célula para diferentes tipos de estrutura, permitindo avaliar qual a melhor célula em termos de produção de energia, a aplicar num determinado sistema fotovoltaico com determinadas características.

Tabela 2.4 – Produção de eletricidade (GWh/MW) de três tipos de célula com vários tipos de estrutura de suporte para uma área de Évora (adptado de GeoModel Solar, 2014).

		Tipo de célula		
Tipo de estrutura de suporte	Caraterísticas Montagem	c-Si	CIS	a-Si
Fixo				
Suporte livre 1 eixo	<ul style="list-style-type: none">• Orientação: Sul• Inclinação: 30°	1,58	1,60	1,66
Suporte livre 2 eixos	<ul style="list-style-type: none">• Orientação: Sul• Inclinação Inverno: 48°• Inclinação Verão: 17°	1,65	1,67	1,73
Tracking 1-eixo				
Eixo vertical	<ul style="list-style-type: none">• Inclinação: 52°	2,08	2,12	2,18
Eixo inclinado	<ul style="list-style-type: none">• Inclinação: 37°	2,09	2,13	2,19
Eixo horizontal NS	-	1,92	1,95	1,98
Eixo horizontal EW	-	1,69	1,72	1,78
Tracking 2-eixos				
Astronómico	-	2,15	2,19	2,26

A produção de energia associada a um sistema fotovoltaico depende muito do tipo de estrutura e do tipo de célula. No entanto a produção do sistema varia também segundo as caraterísticas do local e do sistema fotovoltaico. Estes dois tipos de características, tanto as relacionadas com o local de implementação do sistema como as características técnicas utilizadas no cálculo dos valores da tabela 2.4, são apresentadas de seguida.

Caraterísticas do local:

- Concelho: Évora
- Coordenadas: 38° 33' 42.69" N, 07° 53' 0.31" W
- Altitude: 244 m
- Inclinação do local: 1°
- Orientação azimuth.: 224° sudoeste
- Irradiação global horizontal anual: 2708 kWh/m²
- Temperatura ambiente anual a 2 m: 16.1 °C

Caraterísticas do sistema fotovoltaico:

- Potência instalada: 1000 kWp
- Efic. (Euro) Inversor: 97.5%
- Perdas CC/CA: 5.5% / 1.5%
- Disponibilidade: 99.0%

2.2.6. Preço dos sistemas fotovoltaicos

As perspetivas futuras do mercado fotovoltaico estão a ser marcadas por um período de incerteza, face aos desafios que a economia global está a enfrentar neste momento. É difícil prever a evolução económica global no futuro, assim como a evolução que terá o mercado fotovoltaico em termos de procura e oferta, o que determinará, naturalmente, também a evolução dos preços associados às várias tecnologias de aproveitamento de energia solar (IRENA, 2012). No entanto, pode-se ter uma ideia da evolução do mercado para um futuro próximo, se se tiver em conta a evolução no passado e a situação existente no presente (EPIA, 2012).

Como mostra a figura 2.9, segundo a previsão feita pelo (EPIA, 2012), o preço associado aos sistemas fotovoltaicos no geral terá uma evolução decrescente, derivada de um aumento mundial da procura e consequentemente da competitividade do mercado. Espera-se por exemplo, que no intervalo de tempo entre 2012 e 2022, o preço dos sistemas aplicados em grande escala (2,5 MW), nomeadamente ao nível do solo, baixe 0,83 €/W ou seja 25%, independente do tipo de célula e de montagem. O segmento residencial acompanhará a descida do preço, aproximadamente 1€/W o que equivale a 23%, prevendo-se uma maior aposta neste sector (EPIA, 2012).

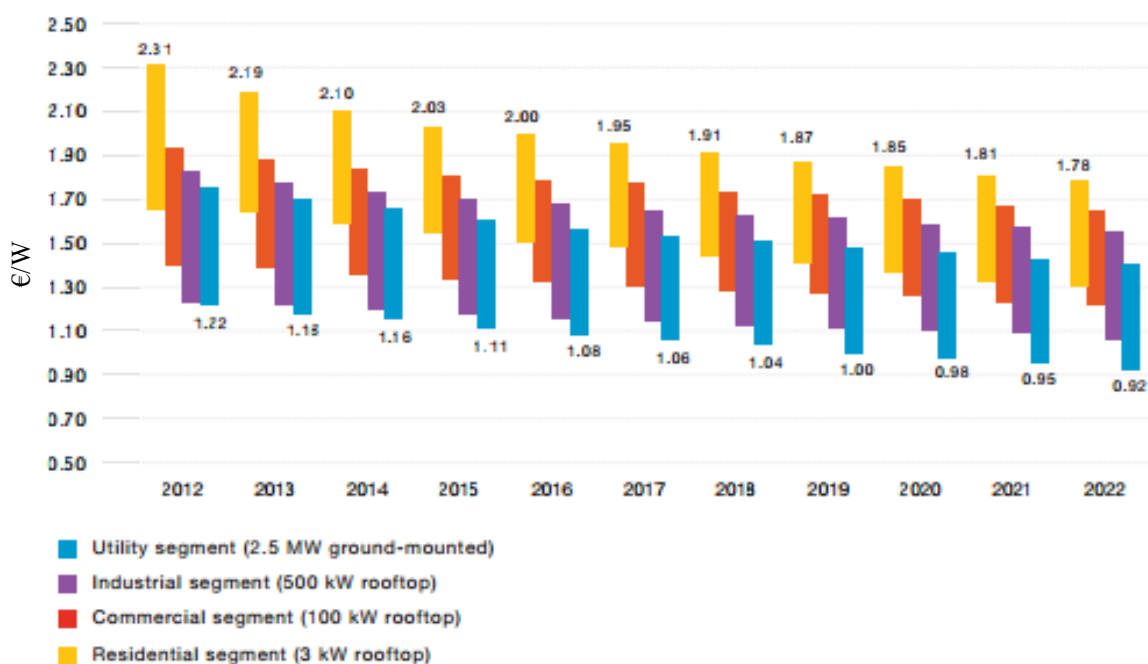


Figura 2.9 - Cenários da evolução dos preços de sistemas fotovoltaicos (EPIA, 2012).

Esta evolução decrescente não começou apenas no ano de 2012, o preço médio de um sistema fotovoltaico habitacional de 3 kW chegou a custar, no ano 2000, cerca de 20.000 € e custava no ano de 2012 cerca de 6.000 €. É já tomado como certo que os preços dos sistemas fotovoltaicos continuarão a decrescer, no entanto a velocidade a que ocorrerá é muito incerta (IRENA, 2012).

Devido ao aumento do preço dos combustíveis fósseis e à redução dos custos da tecnologia fotovoltaica a paridade da rede está cada vez mais próxima, nomeadamente em zonas como o Japão, o Sul da Europa e algumas regiões dos EUA (IRENA, 2012). Segundo (IRENA, 2012) as regiões com menor recurso solar e com baixos custos de produção de energia elétrica podem atingir o patamar de paridade da rede já em 2020. No entanto esta previsão não toma em consideração o facto de a tecnologia fotovoltaica já ser competitiva para casos como o de zonas com determinadas restrições de rede e para diversas aplicações *off-grid*.

2.2.6.1. Custos do módulo fotovoltaico

O custo dos módulos fotovoltaicos varia com o tipo de tecnologia. Os módulos convencionais de c-Si PV são os mais utilizados e juntamente com os módulos CPV as tecnologias mais caras, associadas ao seu nível de eficiência. No entanto, a previsão para os anos mais próximos indica que os módulos CIGS possam ultrapassar os módulos c-si PV, tendo em conta o seu custo mais reduzido e a aproximação da eficiência entre estas duas tecnologias (IRENA, 2012).

Torna-se muito difícil obter um valor preciso geral, sem incertezas, que não seja estimado, do preço global de uma determinada tecnologia, pois existe uma grande disparidade de preços, que varia consoante a estrutura de custos do fabricante, o mercado em causa e a eficiência do sistema. Em 2008, o preço global estimado de módulos de c-Si era de 3,06 €/W. No entanto houve uma redução de custo de 45% em apenas dois anos, visto que o preço estimado no ano de 2010 foi de 1,67 €/W (IRENA, 2012).

No final de 2010, o preço dos módulos de silício sc-Si na Europa, provenientes de fabricantes de economias emergentes, rondava o valor de 1,08 €/W, os módulos de alta eficiência de c-Si rondavam o valor de 1,67 €/W e os módulos *Thin Film* apresentavam valores a rondar os 0,96 €/W. Nos Estados Unidos, por exemplo, o preço dos módulos de sc-Si variava entre os 1,31 €/W e os 1,91 €/W e 0,90 €/W para os módulos *Thin Film* (IRENA, 2012).

No ano de 2011 o preço continuou a descer, atingindo o valor de 1,20 €/W nos módulos de silício sc-Si, 1,23 €/W para módulos mc-Si, 1,15 €/W para módulos *Thin Film* do tipo CdTe e 0,92 €/W para módulos de a-Si. Na Alemanha os preços médios para módulos fotovoltaicos, fabricados na Europa e nos Estados Unidos, eram mais elevados neste mesmo período, cerca de 1,63 €/W, ligeiramente acima do valor do mercado japonês (1,61 €/W). Nos países asiáticos os preços médios atingiram o valor de 1,41 €/W, cerca de 0,20 €/W mais baratos. Todos estes preços são preços praticados por fabricantes, logo à partida aumentam quando entram no mercado de retalho, cerca de 35% e 45%. Por exemplo o preço médio dos módulos c-Si praticados no ano de 2010, por retalhistas nos EUA, Europa e China, rondavam os 2,27 €/W e os 2,65 €/W (IRENA, 2012).

No ano de 2012, com os produtos provenientes da China e de outros mercados emergentes, de baixo custo e com qualidade supostamente igual à dos outros, a chegar à Europa, fez com que o preço dos módulos c-Si continuasse a descer, chegando aos 0,8 €/W. No entanto ao nível dos fabricantes europeus e japoneses por exemplo, este valor subia para 0,92 e 1,06 €/W. Este tipo de produtos, proveniente destes mercados, por ser mais barato, poderia indicar alguma falta de qualidade, no entanto muitos dos fabricantes desses mercados cumprem as normas internacionais de qualidade (IRENA, 2012).

2.2.6.2. Custos globais do sistema fotovoltaico

O custo total de um sistema tem por base o custo dos módulos fotovoltaicos, o custo da instalação, a localização do projeto, a dimensão, as condições de financiamento e o mercado fornecedor do material fotovoltaico (IRENA, 2012). Os sistemas fotovoltaicos podem ser agrupados em quatro tipos, cada um com um custo diferente associado (IRENA, 2012):

- 1) **Sistemas fotovoltaicos residenciais:** são normalmente instalados em coberturas telhado e não excedem os 20 kW de capacidade instalada;
- 2) **Sistemas fotovoltaicos de média escala (*large scale*):** são instalados normalmente em edifícios com grandes coberturas, como hospitais, escolas, universidades entre outros. Estes não ultrapassam normalmente 1 MW de capacidade instalada;
- 3) **Sistemas fotovoltaicos de grande escala (*utility scale*):** são instalados no solo, tendo em conta a capacidade instalada superior a 1 MW;
- 4) **Aplicações *off-grid*:** este tipo de aplicações variam em termos de dimensão, com utilizações quer para sinais luminosos quer para sistemas de segurança, entre outros sistemas com maior necessidade de energia.

Custo de sistemas fotovoltaicos residenciais

- Custo de sistemas entre 2 e 5 kW:

Em Portugal, Espanha e Itália, no ano de 2011, o custo médio de sistemas fotovoltaicos residenciais rondava os 4380 €/kW, incluindo a instalação. Valor este, muito próximo do valor médio praticado nos EUA. No mesmo ano, a Alemanha, devido ao grande mercado competitivo que tem, especialmente ao nível doméstico, apresentou custos mais reduzidos, com valores a rondar os 2859 €/kW (IRENA, 2012).

- Custo de sistemas entre 5 e 10 kW:

Em países como Portugal e Itália, o preço médio deste tipo de sistemas é cerca de 4022 €/kW e nos EUA, 4112 €/kW. Por outro lado, mais uma vez pela mesma razão, a Alemanha apresenta valores mais reduzidos por kW de capacidade instalada, cerca de 2725 € (IRENA, 2012).

Custo de sistemas fotovoltaicos de média e grande escala (*large and utility-scale*)

O preço médio na Europa no ano de 2010, de sistemas desta dimensão com módulos PV de c-Si, rondava os 3785 €/kW, maior do que em 2009 (3406 €/kW). No caso dos EUA, para o mesmo ano e tecnologia, o valor médio foi superior, rondando os 4552 €/kW (IRENA, 2012). Destes valores mais de metade eram relativos à instalação. Por exemplo no caso dos 4542 €/kW dos EUA, cerca de 3028 € eram relativos à instalação, cerca de 454 € relativos ao módulo, 227 € para a célula, sobrando aproximadamente 757 € para as restantes componentes (IRENA, 2012).

No caso da instalação de sistemas fixos, montados no solo, no ano de 2010, os módulos c-Si eram mais baratos, com um valor médio de 3042 €/kW. No caso de se adicionar um sistema *tracking* o valor passava para cerca de 4571 €/kW, mais barato que no caso dos sistemas montados em coberturas (4576 €/kW). No entanto existe ainda um tipo de módulos mais baratos que os de c-Si, os módulos *Thin Film* com valores, no caso de instalações no solo, a rondar os 2336 €/kW (IRENA, 2012).

No caso da aplicação de um sistema *tracking*, além da eficiência aumentar, aumenta também o custo do sistema global. No caso de sistemas *tracking* com 1 eixo, o custo aumenta entre 10 e 20%, no entanto a produção de energia também aumenta, entre 25 a 30% mais kWh/kW/ano, em áreas com elevado recurso solar (IRENA, 2012).

Na figura 2.10 consegue-se perceber, além dos preços médios globais associados a cada tipo de aplicação, qual o peso em termos monetários de cada componente ou serviço inerente ao sistema.

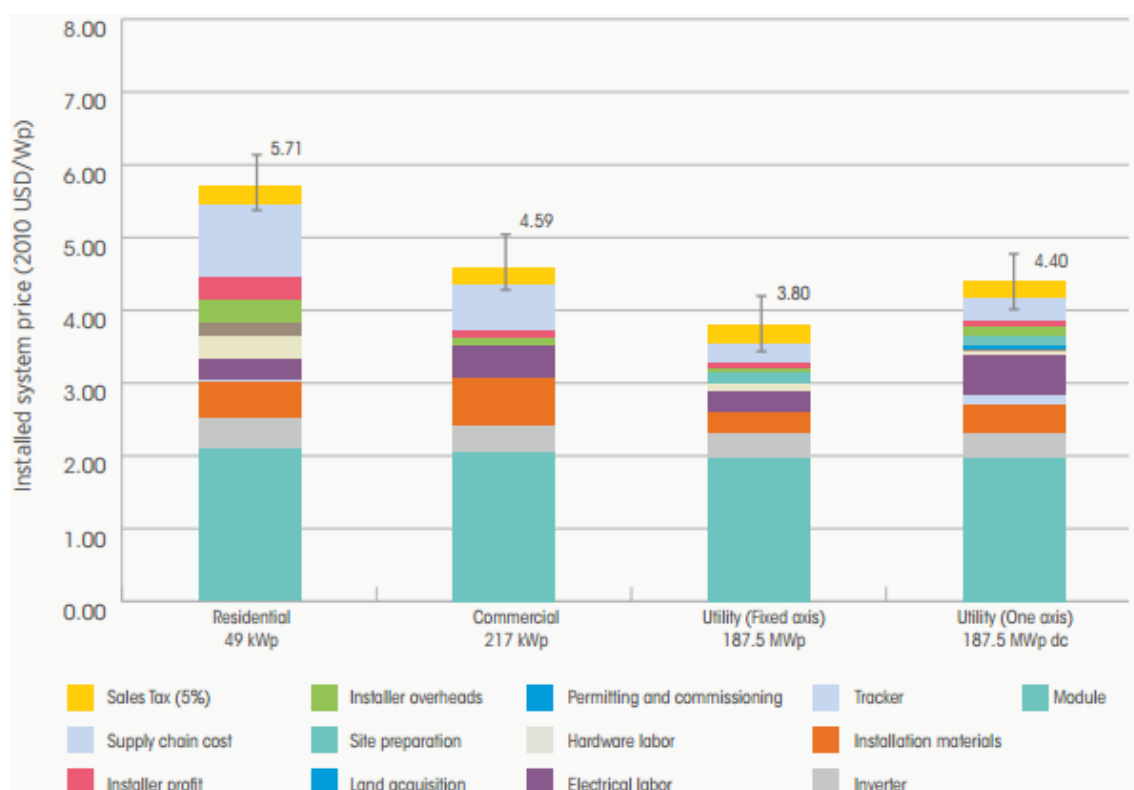


Figura 2.10 - Custos repartidos do sistema PV com células c-Si nos EUA no ano de 2010, para quatro diferentes casos (IRENA, 2012).

Pode-se observar, que a componente com maior peso monetário num sistema PV, independentemente do tipo de sistema é o módulo fotovoltaico, o inversor, a instalação dos materiais do sistema e a instalação da componente elétrica (ligações).

Observando a figura 2.11 pode-se ver a diferença entre vários países, de preços de sistemas PV associados a um determinada potência instalada. O exemplo que chama mais à atenção, é o do Japão que apresenta o maior custo médio por Wp, aproximadamente 4996 €/kWp, para um sistema com capacidade instalada de aproximadamente 2,5 MW. Acontece o oposto na China, em que o preço do sistema é o mais reduzido, cerca de 2573 €/kWp, associado a uma potência instalada de cerca de 32 MW. Assim um sistema na China com quinze vezes maior dimensão consegue ter um preço mais reduzido que um sistema no Japão.



Figura 2.11 - Preços médios associados a determinadas dimensões de sistemas PV de larga escala (> 1 MW) por país, no ano de 2010 (IRENA, 2012).

Relativamente à tecnologia CPV, esta será à partida uma das tecnologias mais rentáveis e como tal mais utilizada no futuro, comparativamente com a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica sem concentração (Farrel, 2011). Recorrendo à figura 2.12, pode-se comparar o custo nivelado de três tecnologias de aproveitamento solar distintas e perceber que a tecnologia CSP tem um preço mais elevado do que a tecnologia PV sem concentração e a tecnologia CPV. Já a tecnologia CPV apesar de ter um preço médio ligeiramente superior à tecnologia PV sem concentração, pode dependentemente do nível de radiação atingir o mesmo preço deste sistema. A descida do preço que se verifica está diretamente ligada com o aumento da radiação, ou GHI no caso da tecnologia PV ou DNI no caso das tecnologias CSP e CPV.

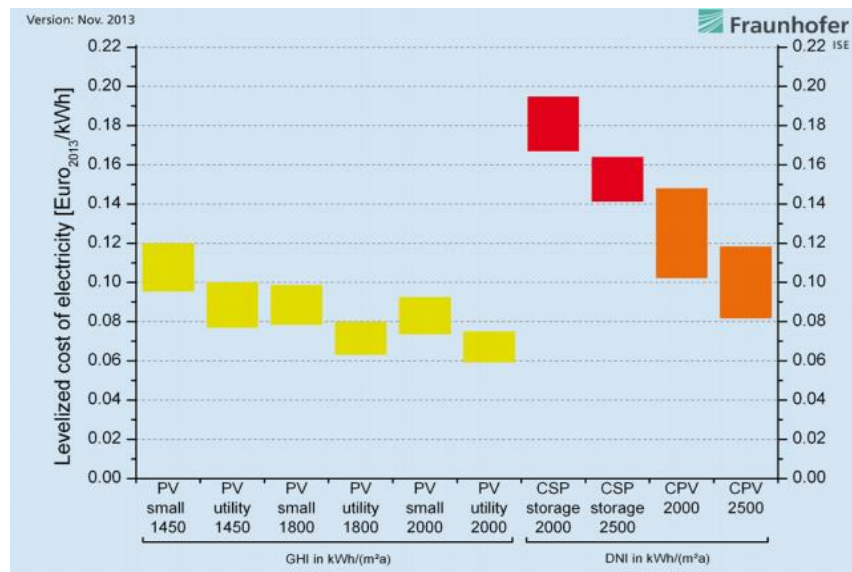


Figura 2.12 - LCOE de tecnologias solares em locais com alta incidência solar em 2013 (O valor sob a tecnologia refere-se à irradiação solar kWh / (m²a): GHI para PV, DNI para CPV e CSP) (Kost *et al*, 2013).

3. Zona de Estudo: Concelho de Évora

Existem três razões principais pelo qual a área de estudo escolhida foi o Concelho de Évora. Em primeiro lugar por estar enquadrada no projeto InSmart. Em segundo lugar pela disponibilidade espacial relacionada com questões de natureza geográfica e em terceiro lugar pela grande disponibilidade do recurso, sendo uma das regiões elegíveis para a implementação de novos projetos solares PV e CPV. Neste capítulo é apresentada uma caracterização do Município de Évora focando aspetos como: área disponível, radiação incidente, topografia e exposição solar e ainda uma análise ao PDM de Évora ao nível das condicionantes relativas aos usos do solo.

3.1. Área disponível

O Concelho de Évora (figura 3.1), possui no total 1 309 km², ou seja, 130 900 ha, e é dividido em 19 freguesias, das quais sete são urbanas e doze rurais, evidenciando uma imagem naturalmente mais rural do que urbana, como é natural no território Alentejano. A região do Alentejo é marcada por uma densidade populacional baixa e o Concelho de Évora segue o mesmo caminho, com um valor de 43,3 hab/km² em que a maior parte da população se concentra no núcleo da cidade de Évora. Segundo dados do INE, datados de 2011, no Concelho de Évora residem cerca de 56 596 habitantes, sendo que 45 350 (80%) vivem na zona urbana e 11 246 (20%) na zona rural (CLASE, 2012).

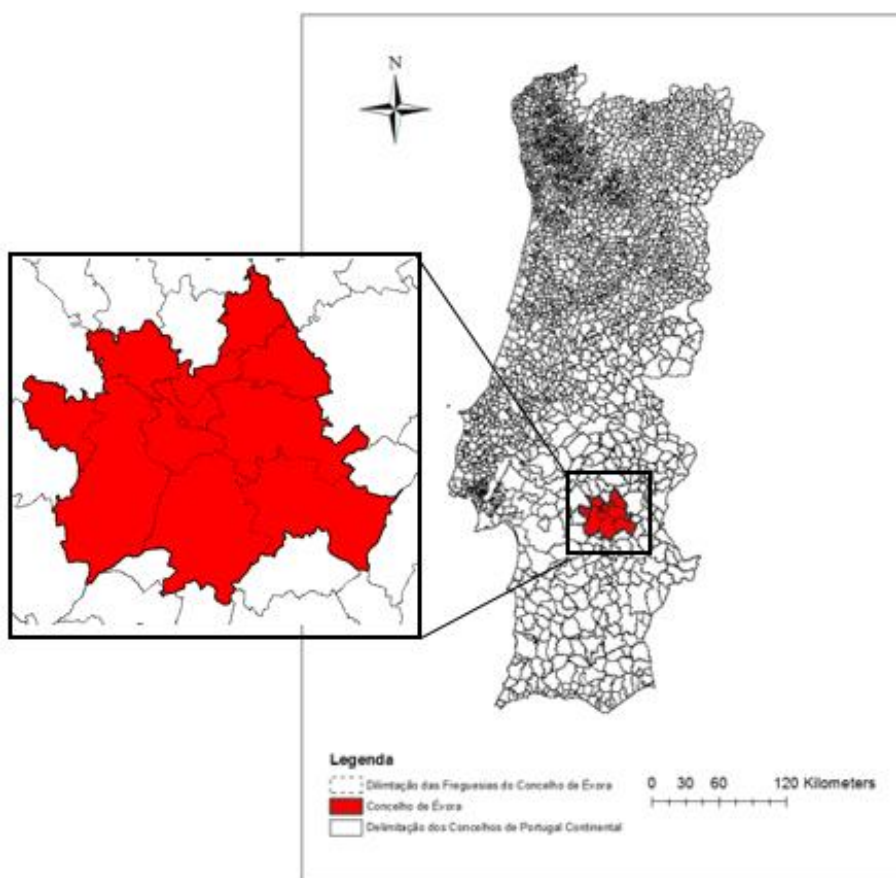


Figura 3.1 – Localização do Município de Évora em Portugal Continental.

Se tomarmos em conta apenas a variável densidade populacional associada às zonas rurais, existe um grande potencial de área disponível, tendo em conta a fraca ocupação populacional nesta zona.

3.2. Radiação incidente

Portugal é uma das zonas mais rentáveis da Europa para se investir em projetos de aproveitamento de energia solar, não só devido à elevada radiação solar incidente bem como ao número de horas solares, entre 2200 e 3000 horas anuais (Loureiro, 2009). Estes valores são considerados excelentes quando comparados por exemplo com a Alemanha, que possui entre 1200 a 1700 horas solares anuais (European Commission, 2001). No território português é na região do Alentejo e na região de Faro, onde se fazem sentir os maiores níveis de radiação (GeoModel Solar, 2011b e GeoModel Solar, 2011c).

A região do Alentejo, foi em abril de 2014 responsável por 43% da produção de energia solar fotovoltaica no país, produzindo cerca de 216 GWh face aos 504 GWh nacionais, assim como por 35% da capacidade instalada deste tipo de energia, 111 MW face aos 321 MW nacionais (DGEG, 2013c). Por outro lado, a topografia mais acessível quando comparada com o norte do país é um fator importante assim como a pouca ocupação territorial humana desta região. A região do Alentejo tem sido alvo de inúmeros investimentos em projetos de aproveitamento de energia solar, no entanto o Concelho de Évora ao contrário de outros Concelhos vizinhos, como por exemplo Beja, tem sido alvo de poucos investimentos ao nível de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica.

Em relação ao clima, na região do Concelho de Évora, faz-se sentir um clima mediterrânico, com alguma influência atlântica, apresentando uma fraca precipitação média anual, na ordem dos 700 mm, com maior incidência no início do Outono e durante o Inverno. Esta região apresenta assim, Verões muito quentes e secos, atingindo um dos maiores valores de radiação incidente no país e na Europa, juntamente com algumas terras vizinhas espanholas, com a mesma latitude (CLASE, 2012).

Como se pode observar através da figura 3.2, o Município de Évora possui no panorama português um nível de radiação muito elevado, sendo apenas ultrapassado pelas regiões de Beja e de Faro, zonas estas com latitude mais baixas.

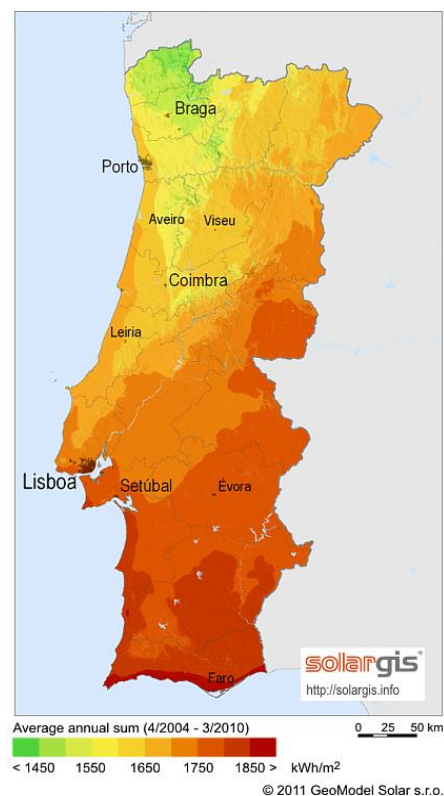


Figura 3.2 - Irradiação global horizontal (GHI) no continente português (GeoModel Solar, 2011).

Através da figura 3.3, pode-se observar a relação, na região de Évora, entre a radiação direta, difusa e refletida ao longo do ano. A radiação refletida é residual, notando-se mais no pico do Verão, acompanhada por uma evolução ao mesmo tempo da radiação global. A radiação difusa vai aumentando ligeiramente até ao mês de Junho, começando depois a decrescer até ao mês de Janeiro.

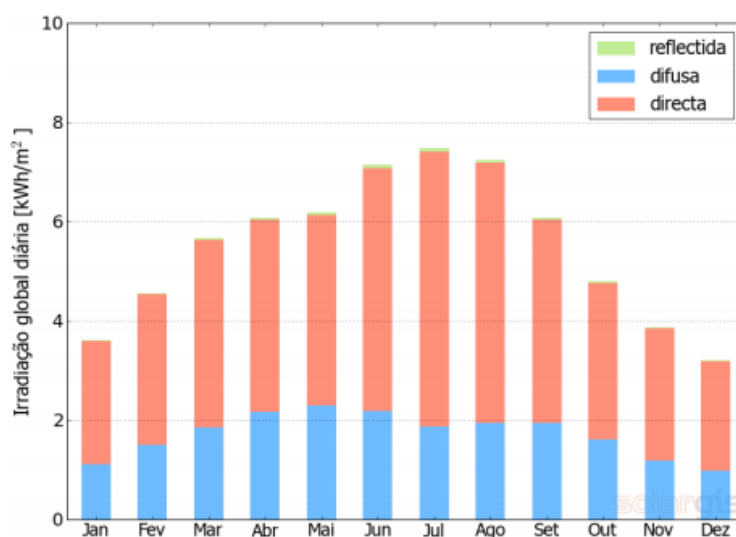


Figura 3.3 - Irradiação global horizontal (GHI) na região de Évora durante o ano, dividida nas suas três componentes (GeoModel Solar, 2014).

Através da figura 3.4, podemos observar que as zonas com maior nível de radiação se situam quer a Norte quer a Noroeste do Concelho, última zona esta pertencente à zona protegida do SIC de Monfurado, marcado pela presença de afloramentos rochosos. No entanto, apesar de se verificar que a zona Norte é mais privilegiada, todo o Município demonstra na sua generalidade um elevado valor de radiação incidente, sendo que o mínimo de radiação global incidente se situa nos 700 kWh/m².

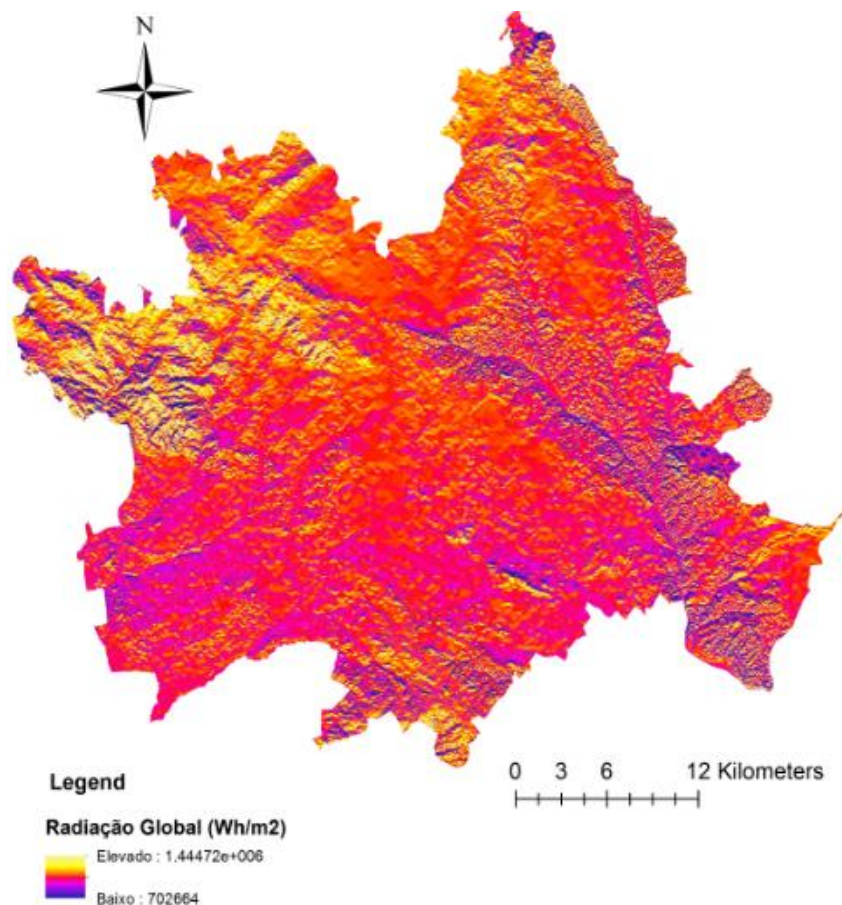


Figura 3.4 – Mapa da radiação global anual (Wh/m2) no Município de Évora.

3.3. Topografia e exposição solar

Todo o Concelho de Évora é caracterizado pelo domínio de vastas planícies (zonas pseudo estepárias) com uma ondulação suave como podemos observar na figura 3.5. Estas planícies apresentam uma cota média de 240 metros e são intercetadas por vezes por vales e serras, como é o caso da Serra de S. Mamede, com vertentes poucos inclinadas e com altitudes que variam entre os 200 e os 400 metros de altitude (CLASE, 2012 & Monte ACE, 2007).



Figura 3.5 –Imagem ilustrativa da zona estudo, nomeadamente das planícies que constituem a área rural do Concelho de Évora (<http://www.avesnest.com>)

O declive que mais se manifesta no Município de Évora situa-se entre os 0 e os 5 %, caraterística das vastas planícies que compõem a maioria do Município, como se mostra na Figura 3.6. Por outro lado o declive com mais acentuação, acima de 25 %, ocorre principalmente a oeste do Município, na área pertencente ao Sítio de Importância Comunitária (SIC) do Monfurado.

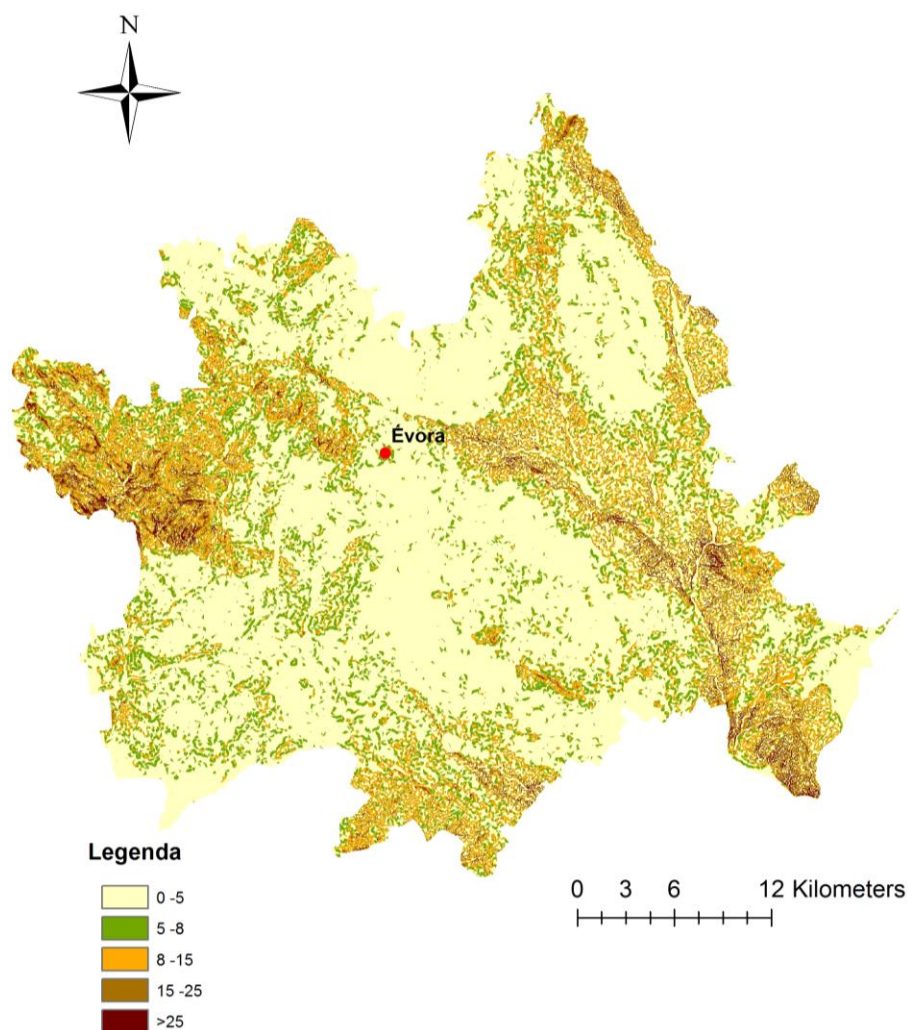


Figura 3.6 – Carta de declives do Município de Évora (valores da legenda em percentagem).

Em relação à exposição solar, esta mostra-se muito variável ao longo do Município, como se pode observar ver pela figura 3.7, não sendo fácil perceber quais ou qual exposição é mais frequente.

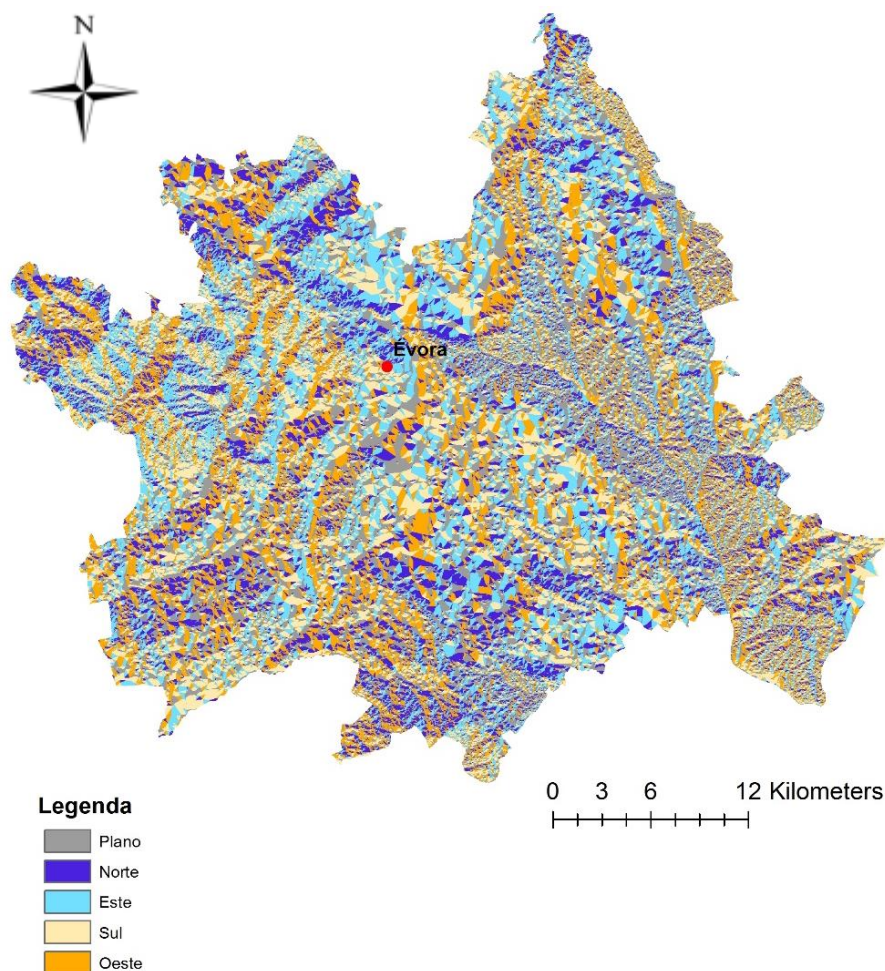


Figura 3.7 – Carta de exposição solar do Município de Évora.

3.4. Análise ao PDM de Évora

3.4.1. Condicionantes relativas aos usos do solo

Através do regulamento do PDM de Évora, datado de Dezembro de 2007 e da alteração ao regulamento, datado de Outubro de 2012, podem-se identificar as servidões administrativas e restrições de utilidade pública ao uso do solo, que possam pôr em causa, devido à sua importância a nível natural, a implementação de um projeto de aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis, neste caso energia solar fotovoltaica.

Segundo o artigo 31º do capítulo I, pertencente ao Título III (Do uso dos solos), os solos do Concelho de Évora, devido ao seu destino básico e afetação dominante, dividem-se em solos rurais e urbanos. Como tal existem condicionantes referentes especificamente a solos rurais e urbanos. No âmbito desta

Dissertação de Mestrado, as condicionantes que possam pôr em causa a implementação deste projeto e que como tal devem ser avaliadas, são as referentes apenas aos solos rurais.

Segundo o Artigo 78º-A do capítulo III, *“Classifica-se como solo rural o que se destina ao aproveitamento agrícola, pecuário e florestal ou de recursos geológicos e espaços naturais de proteção ou de lazer ou a outros tipos de ocupação humana que não lhe confirmem o estatuto de solo urbano.”*

Através do Artigo 7º do Capítulo I referente às condicionantes ao uso do solo, identificaram-se as zonas que, pela sua localização e importância, podem interferir com o projeto:

- Proteção das linhas de água;
- Proteção de albufeiras;
- Zona de defesa de pedreiras;
- Reserva Ecológica Nacional (REN);
- Reserva Agrícola Nacional (RAN);
- Proteção à arborização;
- Rede Natura 2000 / Sítio de Importância Comunitária Monfurado;
- Proteção às linhas elétricas;
- Proteção à Rede Rodoviária Nacional, estradas regionais e estradas desclassificadas;
- Proteção às vias municipais;
- Proteção à Rede Ferroviária;
- Proteção ao Aeródromo.

Estas condicionantes, regem-se pela legislação que lhes é aplicável e como tal é necessário analisar cada uma delas e ver que tipo de usos permite ou não e, caso permita, quais são as restrições. Na componente associada solo rural, podem ser distinguidas várias categorias, como indica o Artigo 34º do Capítulo I do Título III referente ao uso dos solos:

- a) Espaços Agrícolas e Florestais;
- b) Espaços afetos à exploração de Recursos Geológicos;
- c) Espaços afetos a Atividades Industriais diretamente ligados às utilizações que determinam as categorias antecedentes;
- d) Espaços de Proteção Ambiental;
- e) Espaços de Ocupação Turística;
- f) Espaços de Edificação Dispersa.

Estas categorias englobam as condicionante descritas no Artigo 7º do capítulo I e especificam promenorizadamente, através de sub-categorias, os usos e as consequentes restrições e atividades permitidas. Dentro destas categorias foram apenas tomadas em conta, como fator de análise, a alínea a), referente aos Espaços Agrícolas e Florestais e a alínea d) Espaços de Proteção Ambiental, dado que as

restantes estão automaticamente excluídas, no âmbito de instalação de projetos de aproveitamento de energia renovável.

A categoria **Espaços Agrícolas e Florestais** especificada no Artigo 35º, engloba as seguintes subcategorias de solo rural:

- a) Espaços Rurais Envolventes à cidade de Évora;
- b) Espaços de Pequena Propriedade;
- c) Espaços de Média e Grande Propriedade;
 - c.1) Áreas Agrícolas e Florestais Indiferenciadas;
 - c.2) Zonas Agrícolas de Regadio;
 - c.3) Zonas de Proteção ao Aquífero de Évora;

Na alínea j) do artigo 82º (Usos e intervenções permitidos), da Secção XI e Subsecção I, é descrito que: *“são admitidas nestes espaços, sem prejuízo de normas definidas para cada subcategoria de espaço, a instalação de projetos de aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis”*. É referido também que é permitido a instalação de um edifício de apoio, desde que respeite a morfologia e as características do local.

a) Espaços Rurais Envolventes à cidade de Évora

Esta subcategoria dos espaços agrícolas e florestais, referida no artigo 85º da subsecção II, abrange áreas contíguas ao perímetro urbano de Évora e tem o intuito de proteger uma determinada área envolvente à cidade de Évora, para precaver uma possível expansão da zona urbana. Esta delimitação tem também o objetivo de proteger valores biofísicos, paisagísticos e patrimoniais existentes nestes espaços como é o caso do Aqueduto da Água de Prata, o Forte de Santo António ou o Convento da Cartuxa.

Esta zona, segundo o artigo 86 (Usos e intervenções permitidas) destina-se essencialmente a fins agrícolas, florestais e à pastorícia, não especificando se projetos de aproveitamento de energia são permitidos, proibidos ou condicionados. Como tal, estes espaços serão considerados como não passíveis de implementação de projetos de aproveitamento de energia.

b) Espaços de Pequena Propriedade

Segundo o artigo 90º da subsecção III, a subcategoria dos espaços de pequena propriedade, engloba as zonas nas quais a *“estrutura fundiária é constituída predominantemente por propriedades autónomas de pequena dimensão...predominando solos de mediana a alta fertilidade, com ocorrência e disponibilidade frequente de água para rega.”* Estes solos além de destinados a práticas agrícolas, florestais e pastoris, possuem também funções de proteção e valorização de recursos naturais.

Apesar, mais uma vez, de projetos de aproveitamento de energia não serem referidos quer nos usos e intervenções permitidos quer nos proibidos ou condicionados, será considerado como não passível de utilização, no que toca a implementação de projetos de aproveitamento de energia.

c) Espaços de Média e Grande Propriedade

Esta subcategoria integra propriedades autónomas de média e grande dimensão destinadas à agricultura, produção florestal e pastorícia. Segundo a alínea j) do ponto nº 2 do artigo 94º-A da subsecção IV, referente a usos e intervenções permitidas, presente na Alteração ao Regulamento do PDM Évora, datado de Outubro de 2012, é permitido nestes espaços *“a instalação de projetos de produção de energia a partir de energias renováveis”*. No entanto existem sub-categorias em que não é permitida a instalação deste tipo de projetos como é o caso das Zonas Agrícolas de Regadio.

c.1) Áreas Agrícolas e Florestais Indiferenciadas

Segundo o artigo 96º, do documento de alteração ao regulamento do PDM de Évora, de Outubro de 2012, os usos e intervenções nestas áreas *“regem-se pelas normas descritas para a generalidade dos espaços de Média e Grande Propriedade”*. Sendo portanto passível de implementação de projetos de aproveitamento de energia.

c.2) Zonas Agrícolas de Regadio;

Nestes espaços, apenas é permitido a implantação de estruturas e infra-estruturas necessárias para atividades agrícolas de regadio e edificações de apoio agrícola e florestal, caso não existem alternativas de localização fora destes perímetros. Segundo o ponto 7, do artigo 97º da alteração ao regulamento do PDM, que refere quais as alíneas do artigo 94º-A são admitidas, a alínea j) referente a projetos de aproveitamento de energia não é contabilizada, como seria de esperar, face à natureza destes terrenos.

c.3) Zonas de Proteção ao Aquífero de Évora;

Segundo o ponto 1 do artigo 101º, *“as Zonas de Protecção ao Aquífero de Évora incluem a área abrangida pelo sistema de produtividade elevada que se encontra a sul e sudeste da Cidade de Évora”*. Segundo o ponto 6, do mesmo artigo, do documento de alteração ao regulamento do PDM de Évora, é referido que nestes espaços é permitida *“a instalação de projetos de produção de energia a partir de energias renováveis”*

Já em relação à categoria **Espaços de Proteção Ambiental**, especificada no Artigo 39º, esta é dividida em:

- a) Zonas de Especial Valor Patrimonial
- b) Zonas de Proteção das Bacias de Alimentação de Albufeiras;
- c) Espaços de Proteção da Avifauna;
- d) Zonas de Parada Nupcial da Abetarda;

e) Áreas Envolventes às Albufeiras de Águas Públicas.

Esta categoria integra “o conjunto de solos que, em razão do seu interesse para o equilíbrio natural, para a conservação da natureza e da biodiversidade, ou do seu intrínseco valor paisagístico, devam ser preservados na sua condição natural, sendo fortemente condicionados todas as atividades que diminuam ou alterem com carácter de irreversibilidade, a morfologia dos terrenos ou o acervo biológico nele existente...”

Segundo alínea j) do ponto 1 do artigo 124º-C (relativo aos usos e intervenções permitidos) da subsecção I, do documento de alteração do regulamento do PDM de Évora de Outubro de 2012, “nos Espaços de Proteção Ambiental são admitidas, sem prejuízo das normas definidas para cada subcategoria a instalação de projetos de aproveitamento de energia a partir de energias renováveis”. No entanto existe uma condicionante referida na alínea g), do ponto 2 do mesmo artigo, referente à construção do edifício de apoio. A construção deste edifício não deve exceder 100 m² de área de construção nem os 3 metros de altura de fachada.

Contudo, existe alguma contradição referente às subcategorias dos Espaços de Proteção Ambiental, como é o caso dos Espaços de Proteção da Avifauna e das Zonas de Parada Nupcial da Abetarda, em que não é possível este tipo de instalações devido à distribuição de energia por cabos de alta e média tensão, visto que podem pôr em perigo as espécies existentes nestes locais. Acontece o mesmo nas Zonas de Especial Valor Patrimonial, mas neste caso por forma a preservar os montados de sobreiro.

a) Zonas de Especial Valor Patrimonial

Segundo o ponto 1 do artigo 125º da subsecção II, do documento de alteração do regulamento do PDME, “Incluem-se nestes espaços as zonas...caracterizadas pela notável densidade e relevância histórica do património construído, cobertas por montados com elevada estabilidade e produtividade, que constituem habitats importantes para a conservação da natureza e da biodiversidade...”

Parte deste território está incluído na Rede Natura 2000, área esta, inserida quase na sua totalidade, na área classificada como Sítio de Importância Comunitária (SIC) Monfurado (Decisão da Comissão 2006/13/CE, de 19 de Julho) e por parte da Zona de Proteção Especial de Évora (Decreto Regulamentar nº6/2008, de 26 de Fevereiro).

a.1) Sítio de Importância Comunitária Monfurado

As intervenções neste local regem-se pelo disposto no Regulamento Administrativo em vigor neste espaço, nomeadamente o Plano de Intervenção no Espaço Rural do Sítio de Monfurado (PIERSM), publicitado através da Portaria nº 829/2007 de 1 de Agosto. Segundo o artigo 3º do Capítulo I do Regulamento do PIER - SIC Monfurado este plano “foi elaborado tendo em conta a legislação vigente para os Planos Municipais de Ordenamento do Território e as orientações do Plano Sectorial da Rede Natura 2000.”

À partida, um projeto de aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis, não é referido como atividade interdita, desde que não ponha em causa nenhuma alínea do artigo 7º da secção I do capítulo III. Mas a sua aprovação ou licenciamento, junto das atividades competentes, neste caso o Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e a comissão de coordenação e desenvolvimento regional, segundo o ponto 1 do artigo 8º do mesmo capítulo, será de acordo com a legislação em vigor a um estudo de Incidências Ambientais. Refere-se ainda no ponto 2 deste artigo 8º, que *“sempre que aplicável e de forma a minimizar e compensar eventuais impactos negativos, as medidas e ações de gestão para o Sítio de Monfurado que constam no Programa de Gestão para os Valores Naturais e respectiva cartografia, os quais integram o PIRSM.”*

No entanto, o facto de esta zona incidir na sua totalidade em terreno pertencente à Rede Natura 2000 e numa zona considerada de elevado valor patrimonial, as restrições associadas à Rede Natura sobrepõem-se aos usos permitidos no Sítio de Monfurado. Como tal, a área pertencente ao SIC de Monfurado foi então classificada como não passível de não construção deste tipo de projetos, apesar de não ser referida qualquer tipo de restrição no Plano de Intervenção no Espaço Rural do Sítio de Monfurado (PIERSM).

b) Zonas de Proteção das Bacias de Alimentação de Albufeiras:

Segundo o artigo 131º da subsecção II do documento de alteração do regulamento do PDME *“constitui objetivo do PDME para estes espaços, a proteção das bacias drenantes das albufeiras das barragens do Monte Novo, Divor e Minutos, que asseguram...o armazenamento de água para abastecimento público”* garantindo assim a suficiência e qualidade do recurso. No artigo 132º referente a Usos e Intervensões Permitidos, da subsecção III, é referido na alínea j) do ponto 4, que *“...são admitidos...”* nestes espaços a *“instalação de projetos de energia a partir de energias renováveis”*.

c) Espaços de Proteção da Avifauna:

Estes espaços pertencentes à Rede Natura 2000, segundo o artigo 135º, abrangem uma zona a sul e sudoeste da cidade de Évora, os quais são frequentados por numerosas espécies protegidas tanto por legislação nacional como comunitária. Relativamente a usos e atividades dispostos no artigo 136º, nestes espaços são privilegiados usos agrícolas e florestais desde que não comprometam de alguma forma a avifauna existente. Como estes espaços pertencem à Rede Natura 2000, o artigo 137º-A do documento de alteração do regulamento do PDME, indica que qualquer intervenção carece do parecer prévio das entidades públicas com competências de conservação da natureza e proteção da biodiversidade. No entanto tendo em conta a condicionante referente à incompatibilização das linhas de alta tensão associadas a este tipo de projetos com o espaço em causa, este espaço foi considerado no seu geral como uma condicionante.

d) Zonas de Parada Nupcial da Abetarda

Para além dos espaços de proteção da avifauna referidos na alínea anterior, existem ainda três zonas de paradas nupciais da abetarda. Estas zonas, segundo o artigo 138º da subsecção IV, com medidas de proteção mais exigentes, por forma a proteger esta espécie em risco de extinção. Tal como nos espaços de proteção da avifauna, o artigo 139º referente a usos e atividades nestas zonas, indica que não é possível, naturalmente, a instalação de postos de alta e média tensão, pelo que desta forma não será também possível a instalação de projetos de aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis. Como tal as Zonas de Parada Nupcial da Abetarda são também consideradas não passíveis de construção de projetos de aproveitamento de energia renovável.

e) Áreas Envolventes às Albufeiras de Águas Públicas

Segundo o artigo 140º nesta categoria estão incluídas as áreas envolventes às albufeiras de águas públicas situadas no Concelho de Évora, nomeadamente a barragem de Alqueva, do Pedrogão, do Monte Novo, do Divor, da Vigia e dos Minutos. O objetivo passa pela sua preservação, de forma a salvaguardar a qualidade do solo e da água para consumo humano. Os usos ou atividades permitidas nestas áreas são regidas pelo Plano de Ordenamento das Albufeiras de Águas Públicas (POAAP), nomeadamente pelo Decreto-Lei n.º 107/2009 de 15 de Maio. Segundo o artigo 19º, 20º, 21º e 22º relativo a atividades interditas e condicionadas nas zonas de proteção das albufeiras, não são referidos projetos de aproveitamento de energia. No entanto, na elaboração deste trabalho, como forma de proteção do próprio sistema, estas áreas foram consideradas como não passíveis de utilização no âmbito do tipo de projetos de aproveitamento de energia renovável.

3.4.2. Condicionantes dos usos do solo: espaço agrícola e florestal

O município Évora, como a maioria das regiões fora dos grandes centros metropolitanos, tem mais área rural que urbana. No entanto essa área rural está ocupada por variadíssimas culturas, com uma grande variação ao nível percentual de ocupação do terreno e ao nível da importância económica da própria cultura. As culturas existentes na região são, na sua maioria, culturas de cereais em regime extensivo, montados de sobro e azinho e ainda algumas manchas importantes de olivais e vinhas. Em relação a este último tipo de cultura, as vinhas, existem inúmeras empresas vinícolas na região do Concelho de Évora, como é o caso, por exemplo, da Herdade de Esporão, considerada, pela área vinícola que ocupa, uma das maiores da Europa, se não mesmo a maior, com cerca de 500 hectares. Os prados xerofílicos são também uma grande componente do território do Concelho de Évora.

Para além dos tipos de culturas já referidos existem ainda culturas arvenses de sequeiro e regadio, culturas hortícolas em estufa, mosaicos de culturas permanentes associadas a pastagens de sequeiro e regadio, estevais, sargaçais, matagais mistos mediterrâneos, formações ruderais e tojais.

4. Metodologia de avaliação do potencial técnico de produção de eletricidade a partir do aproveitamento de energia solar fotovoltaico no Concelho de Évora

O objetivo desta dissertação é avaliar o potencial técnico fotovoltaico, quer em termos de capacidade instalada quer em termos de produção anual. Por forma a conseguir alcançar o objetivo, é necessário responder às seguintes questões:

- I) Qual a área disponível para a implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável?
- II) Qual a área útil necessária para aproveitamento de energia solar?
- III) Qual o potencial técnico de capacidade instalada (MW) de produção de eletricidade (GWh)?

4.1. Estimativa da área disponível e da área útil necessária para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar

A área disponível é considerado o conjunto de zonas que, devido às suas características em termos de ocupação do solo, permitem a instalação de projetos de aproveitamento de energia. Ao contrário da área disponível, que tem em conta apenas a componente teórica, a área útil tem em conta as várias componentes técnicas do projeto, como por exemplo o tipo de tecnologia ou a dimensão do projeto e como tal refere-se à área real de implementação do projeto.

Por forma a identificar qual a área disponível e qual a área útil é necessário ter em conta vários fatores, como o tipo de ocupação territorial, as restrições associadas às zonas com carácter de proteção e as restrições físicas associadas ao uso do solo ou até mesmo à topografia, à exposição solar, ao tipo de tecnologia e à capacidade instalada (MW). Estas restrições são analisadas de seguida.

4.1.1. Análise das restrições com carácter de proteção

Tendo por base o regulamento do PDM de Évora, datado de Dezembro de 2007, foi elaborada a tabela 4.1, que resume o nível de restrição para implementação de projetos solares para cada categoria do PDM com carácter de proteção. A justificação para a decisão sobre a restrição de cada uma das categorias do PDM com carácter de proteção está já apresentada na secção 3.4.

Tabela 4.1 – Resumo do nível de restrição para cada categoria do PDM

Categoria do PDM	Restrição para instalação de projetos solares
Espaços Rurais Envolventes à cidade de Évora	Não
Espaços de Pequena Propriedade	Não
Áreas Agrícolas e Florestais Indiferenciadas	Sim
Zonas Agrícolas de Regadio	Não
Zonas de Proteção ao Aquífero de Évora	Sim
Zonas de Especial Valor Patrimonial	Não
Zonas de Proteção das Bacias de Alimentação de Albufeiras;	Sim
Espaços de Proteção da Avifauna	Não
Áreas Envolventes às Albufeiras de Águas Públicas	Não
Zona de Parada Nupcial de Protecção da Abetarda	Não

4.1.2. Análise das restrições físicas associadas ao uso do solo

- **Edificado, rodoviário e hídrico**

Adicionalmente, determinadas categorias e zonas não classificadas como categorias, foram também considerados como não passíveis de poderem receber a implementação de projetos devido ao uso que têm e por se tratar de zonas já construídas. Estas áreas não precisaram de análise pelo carácter lógico que representam face ao objetivo de implementação deste tipo de projetos. São por exemplo:

- Área Urbana
- Aeródromo
- Albufeiras de barragem
- Aterros para resíduos sólidos
- Cemitérios
- Caminhos
- Linhas de água

- h) Edificações rurais fora da área urbana
- i) Entulheiras e Sucateiras
- j) Espaços urbanos
- k) Estações de tratamento de água
- l) Leitos de cheias de zonas inundáveis
- m) Pedreiras, saibreiras, areiros, barreiras e outras explorações de inertes a céu aberto ativas
- n) Rede ferroviária normal
- o) Rede Rodoviária
- p) Subestações de transformação e distribuição de energia
- q) Trilhos e aceiros

Em relação às áreas urbanas, tendo em conta a dimensão do projeto de aproveitamento de energia estudado nesta dissertação (larga escala), é totalmente impossível considerar estas zonas como passíveis de implementação.

Na figura 4.1 está exemplificado a metodologia de produção dos mapas de uso do solo, nomeadamente o mapa A, sem restrições derivadas do PDM tendo em conta as zonas protegidas do Município de Évora e o mapa B, sem restrições físicas, ou seja, zonas com um tipo de ocupação compatível com a implementação de projetos de aproveitamento de energia. Na mesma figura pode-se também perceber que foi feito um “buffer” de 200 metros, ou seja, uma exclusão de área, em redor de alguns usos do solo, à partida aqueles que pudessem causar mais problemas tendo em conta as suas características e até mesmo inviabilizar o projeto devido à sua proximidade com o mesmo como é o caso das linhas de água ou das zonas urbanas. Não foram elaborados qualquer tipo de “buffer” em redor das restantes restrições físicas devido ao fato de a sua proximidade não interferir de tal forma com a realização e o bom funcionamento do projeto que obrigasse a uma redução da área disponível. Também não foi aplicado qualquer tipo de “buffer” às restrições de carácter protegido tendo em conta que sendo de carácter protegido já têm o seu próprio “buffer” ou limite de proteção. Por outro lado estas zonas não contêm perigo nenhum para o projeto em causa, ao contrário de outras como é o caso das linhas de água, ou dos leitos de cheias de zonas inundáveis.

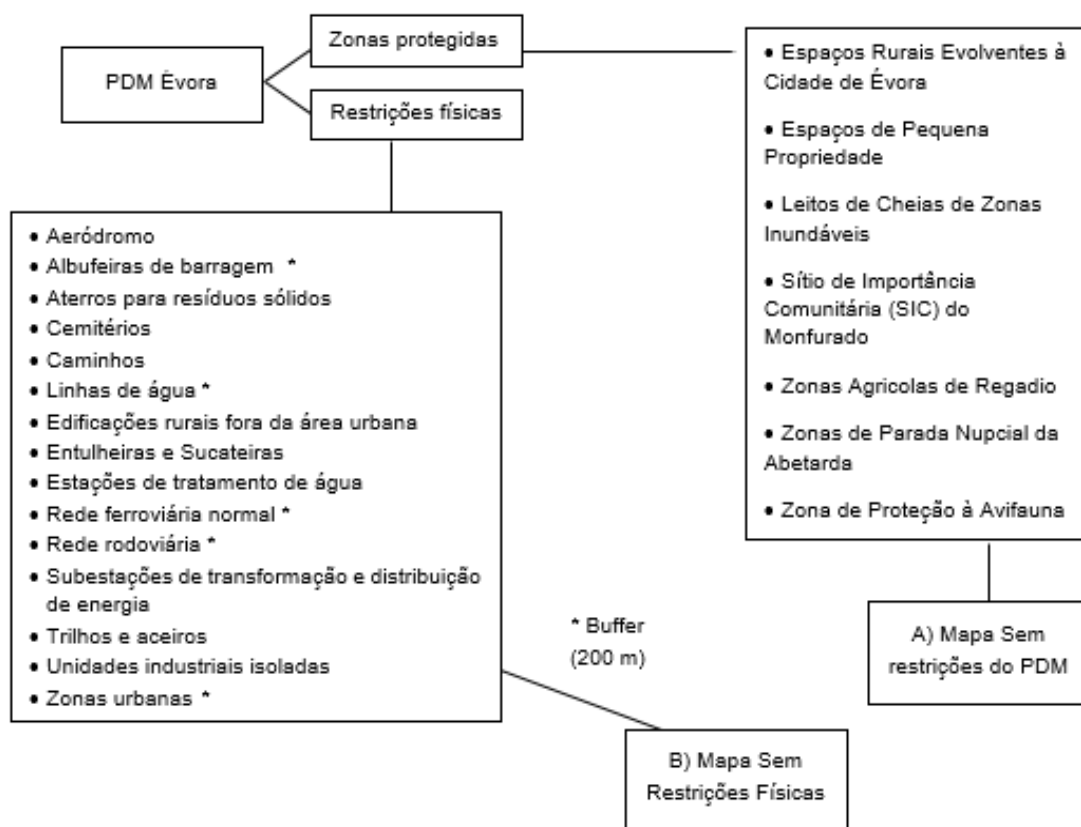


Figura 4.1 - Metodologia de produção dos mapas de ocupação do solo.

A exposição e o declive são dois parâmetros muito importantes a ter em conta para seleccionar as melhores áreas para instalação de projetos de aproveitamento de energia solar. Antes de trabalhar sobre estas duas variáveis foi necessário elaborar os mapas de exposição e de declive em formato vetorial. Em relação ao declive optou-se por excluir as zonas com declive superior a 3%. Valores estes considerados como uma restrição à implementação deste tipo de projetos segundo (Lopez et al, 2014). Em relação à exposição solar esta foi dividida em dois níveis, a exposição ótima, que varia entre Sudeste (135°) e Sudoeste (235°) e a exposição menos apropriada (restante). Ambas as exposições foram utilizadas na metodologia deste trabalho como área disponível por forma a não perder área viável à instalação deste tipo de projetos. Uma vez que a instalação dos painéis nas regiões com exposição menos apropriada pode ser adaptada, em termos de inclinação, à exposição ótima. O método de determinação está exemplificado na figura 4.2.

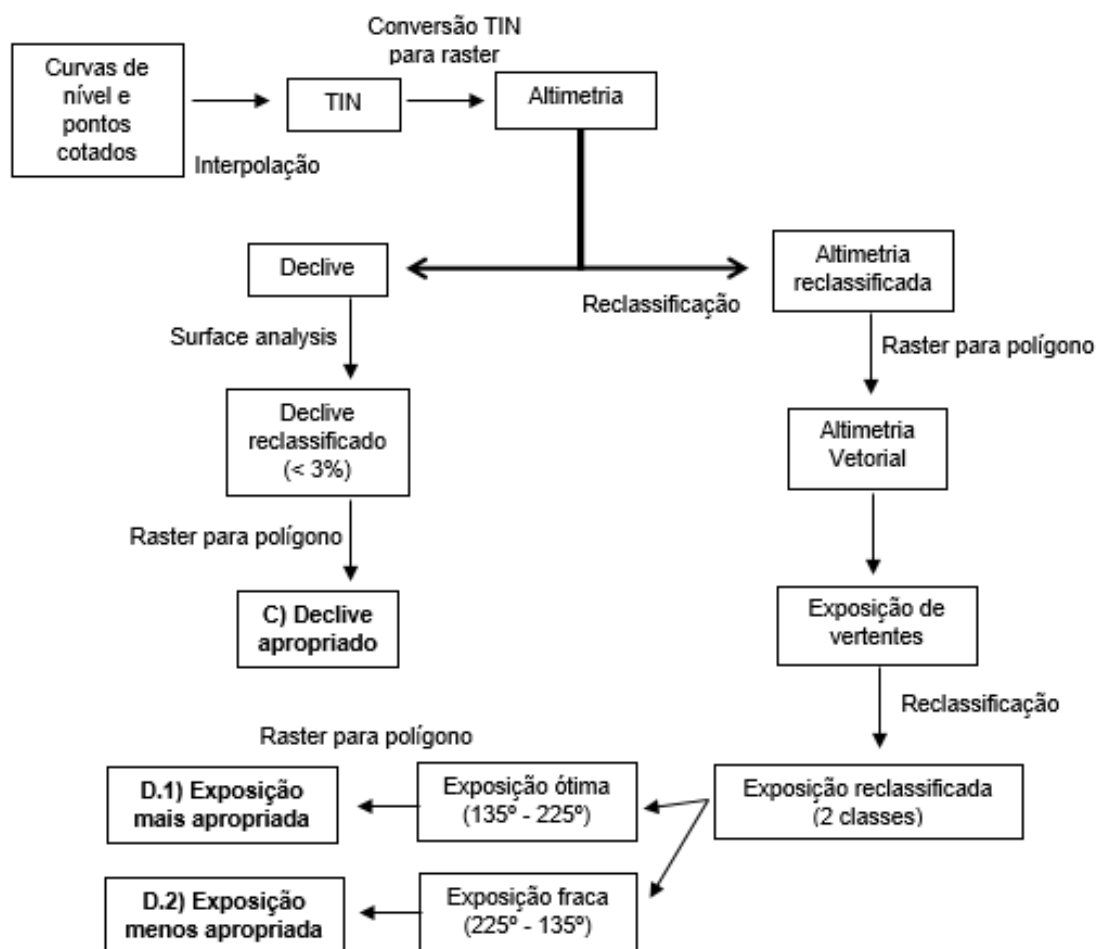


Figura 4.2 – Metodologia de produção dos mapas de declive e exposição em formato vetorial.

- **Tipo de culturas e despesa de preparação de terrenos**

Depois de serem tratadas as restrições de carácter protegido e de carácter físico associados ao perfil urbano, rodoviário e hídrico foi elaborada a análise relativa às restrições do uso do solo associadas aos tipos de culturas. Por forma a optimizar a área disponível que fosse viável para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar, foram elaborados três cenários de ocupação do solo aos quais estão associados assunções de disponibilidade de área e de custos de preparação do terreno (eg.

limpeza de matos, desarborização). A cada um destes cenários está associado um valor de despesa referente à limpeza e preparação dos terrenos. Esta despesa foi dividida em três níveis, elevado, médio e baixo, em função do nível de ocupação das culturas nos terrenos. Para tal foram tidos em conta dois valores monetários base, 800 € para limpeza de um hectare e 450 € para o corte de uma árvore de médio/grande porte (preço generalizado) (Giestas, 2014 & Tree Removal, 2014). Assim para além do nível de ocupação dos terrenos, é também tido em conta se o tipo de cultura é arbustiva ou arbórea, visto que a cada uma está associado um montante diferente de despesa.

De acordo com a literatura, a exposição solar para efeitos do aproveitamento de energia solar solar, pode ser dividida em duas categorias, a zona óptima, que varia entre Sudeste (135°) e Sudoeste (225°), e a zona fraca que corresponde à restante exposição. Estas duas categorias de exposição foram incorporados em toda a análise do trabalho e como tal em todos os cenários de ocupação do solo. Os cenários de ocupação do solo são apresentados de seguida e de uma forma resumida na tabela 4.1.

Cenário Base

Este cenário tem apenas um carácter ilustrativo, devido à expectável despesa associada às culturas e ao nível de ocupação destas mesmas culturas nos terrenos em causa. Este cenário resultado da interseção do mapa A (sem restrições do PDM) com o mapa B (sem restrições físicas) serve apenas de carácter ilustrativo, por forma a perceber, em termos espaciais, a área, que segundo o PDM de Évora, tem permissão para a implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável e como tal não foi utilizado. Este cenário tem uma semelhança relativamente aos restantes, que passa pelo fato de não conter quer as zonas com carácter de proteção, as zonas com um tipo de ocupação incompatível com os projetos em causa e com linhas de água por exemplo. No entanto, este cenário não é considerado um cenário como os restantes devido não só a presença de culturas protegidas como é o caso de zonas que contenham Sobreiros, como por exemplo os Montados de Sobro e os povoamentos mistos de sobreiro mas também pela presença de povoamentos com elevado interesse económico como é o caso dos Montados de Azinho. Estas apesar de não serem protegidas têm um grande valor económico e natural assim como a maioria das vinhas existentes nesta região. Em relação às vinhas, existem inúmeras empresas vinícolas no Concelho de Évora, como é o caso, por exemplo, da Herdade de Esporão, considerada, pela área vinícola que ocupa, uma das maiores da Europa, se não mesmo a maior, com cerca de 500 hectares.

Estas são áreas, que apesar do PDM não demonstrar qualquer restrição à instalação de projetos de aproveitamento de energia renovável, o valor económico da cultura é tão elevado que ao proprietário não lhe interessará, à partida, nem vender nem alugar o espaço mesmo que seja durante um período curto de tempo mesmo que seja por uma quantidade exorbitante de dinheiro. Para além do tipo de cultura em causa, o nível de ocupação da cultura é também muito importante ao nível da despesa associada à limpeza dos terrenos. Uma cultura que ocupe apenas 10% de um terreno terá um nível de despesa

associado à limpeza e preparação do terreno muito inferior a uma mesma cultura que ocupe 50% do terreno.

Cenário Flexível

Este cenário, ao contrário do cenário Base, não contempla qualquer tipo de zona que contenha sobreiros, como é o caso dos montados de sobreiro e das culturas mistas. Por outro lado, também os montados de azinho assim como as vinhas de regadio e de sequeiro foram excluídas, devido às características já referidas deste tipo de culturas. Foi também feita uma seleção de exclusão, ao nível da percentagem ocupacional das culturas nos terrenos: culturas com percentagens de ocupação superior a 50% foram excluídos, devido ao investimento necessário para abate de árvores e limpeza dos terrenos, que poderia inviabilizar economicamente um projeto.

Faça ao cenário Base, as culturas excluídas neste cenário foram:

- Vinhas regadio e sequeiro
- Montados sobreiro, sobreiros e culturas mistas com sobreiro
- Montados azinho
- Culturas com ocupação superior a 50%
 - Culturas arvenses de regadio
 - Culturas arvenses de sequeiro
 - Culturas hortícolas em estufa
 - Mosaico de culturas anuais associadas a pastagens de sequeiro
 - Mosaico de culturas anuais com culturas permanentes de regadio
 - Olivais de sequeiro
 - Olival + Vinha (de sequeiro)
 - Olivais de regadio
 - Mosaico de culturas permanentes de sequeiro
 - Mosaico de culturas anuais com culturas permanentes de sequeiro
 - Outros pomares de sequeiro
 - Olivais abandonados

Existem algumas culturas, que apesar de ocuparem mais de 50% do terreno, o seu fraco valor económico e natural evidenciado, como é o caso dos Olivais abandonados ou das culturas arvenses, fez com que fossem reconsiderados por forma a serem utilizados. Como tal devido a alguma incerteza face à exclusão ou não exclusão de algumas culturas este cenário foi dividido em outros dois cenários, o cenário Flexível 1, de carácter mais dispendioso, e o cenário Flexível 2 com um custo associado considerado intermédio relativamente ao abate de árvores e limpeza dos terrenos.

Cenário Flexível 1

Este cenário tem uma elevada área disponível, face aos restantes cenários, e tem em conta a presença das seguintes culturas e povoamentos:

- Cereais de regadio e cereais de sequeiro
- Esteval e Sargaçal
- Matagais Mistos Mediterrâneos
- Formações Ruderais
- Prados pobres sujeitos a pisoteio
- Tojais
- Prados Xerofílicos
- Solos sem cobertura vegetal
- Culturas abaixo de 50%
- Algumas culturas com ocupação > 50%
 - Culturas arvenses de regadio
 - Culturas arvenses de sequeiro
 - Olivais de sequeiro
 - Olival + Vinha (de sequeiro)
 - Olivais de regadio
 - Outros pomares de sequeiro
 - Olivais abandonados

Ao cenário Flexível 1 está associado um nível de despesa para preparação dos terrenos elevado visto que neste cenário são contempladas culturas com níveis elevados de ocupação dos terrenos (<50% e algumas >50%), assim como culturas arbóreas (mais dispendiosas ao nível da limpeza de terrenos).

Cenário Flexível 2

Este cenário, com uma disponibilidade de área considerada intermédia, tem em conta a presença das seguintes culturas e povoamentos:

- Culturas abaixo de 10%
- Cereais de regadio e cereais de sequeiro
- Esteval e Sargaçal
- Matagais Mistos Mediterrâneos
- Formações Ruderais
- Prados pobres sujeitos a pisoteio
- Tojais
- Prados Xerofílicos

- Solos sem cobertura vegetal

Ao cenário Flexível 2, está associada uma despesa para limpeza dos terrenos média e inferior ao do cenário Flexível, visto que neste caso são apenas tido em contas culturas com um nível de ocupação inferior a 10%. Em relação às restantes culturas, como os estevais e sargaçais ou os matagais, apesar da despesa ser variável é sempre inferior ao das culturas contempladas no cenário Flexível 1.

Cenário Rigoroso

Este é um cenário que, ao contrário do cenário base de disponibilidade máxima, apresenta a disponibilidade mínima para projetos de aproveitamento de energia renovável. É caracterizado pela presença de culturas sem valor económico, sem grande valor natural e com uma presença mínima ou mesmo nula de espécies arbóreas, reduzindo assim muito o valor do terreno e o custo da limpeza e abate de árvores. Este cenário comporta os seguintes povoamentos:

- Prados pobres sujeitos a pisoteio
- Tojais
- Prados Xerofílicos
- Solos sem cobertura vegetal

Ao cenário Rigoroso, devido às culturas que contempla, o nível despesas face aos restantes cenários, é naturalmente considerado baixo. Neste sentido, este cenário, devido ao valor, económico e natural, reduzido dos seus terrenos é considerado o cenário ótimo para implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável.

A tabela 4.2 faz um resumo das características dos cenários de uso do solo apresentados anteriormente.

Tabela 4.2 - Resumo das características dos diferentes cenários de uso do solo.

Cenários	Base	Flexível 1	Flexível 2	Rigoroso
Disponibilidade de área	Máxima	Intermédia		Mínima
Custos de preparação dos terrenos	-	Elevado	Médio	Baixo
Tipo de culturas	Todos os usos do solo disponíveis (Mapa A e B)	Não contém vinhas, montados de sobro, culturas de sobreiro, culturas mistas com sobreiro		
		Presença de algumas culturas com ocupação superior a 50%	Culturas com ocupação inferior a 10% de ocupação	Presença de apenas 4 tipos de culturas que representam menos gastos ao nível da limpeza

Tanto os cenários flexíveis como o cenário rigoroso resultam da interseção do cenário Base com os mapa de declives apropriados (mapa C) e com o mapa de exposições (mapas D). Em relação à carta de exposições foram considerados em todos os cenários tanto o mapa D.1 (exposição mais apropriada) como o mapa D.2 (menos apropriada ou fraca). A metodologia de cálculo da área disponível associada a cada cenário de ocupação do solo é exemplificada na figura 4.3.

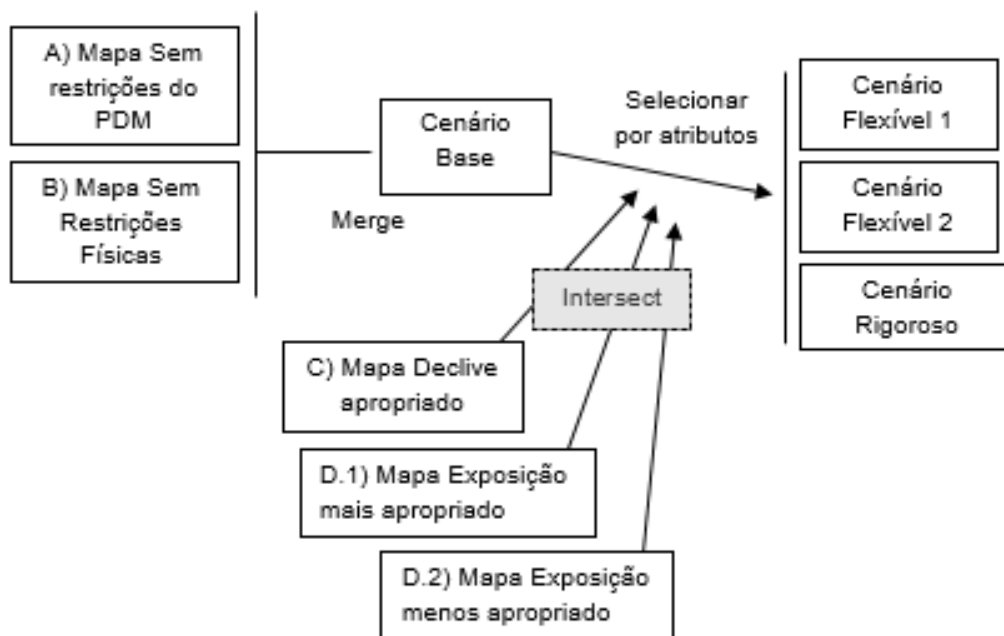


Figura 4.3 – Metodologia para identificar a área disponível.

4.1.3. Análise tecnológica e estimativa da área útil

Por forma a identificar a área útil para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica é necessário ter em conta não só a capacidade instalada em causa mas também o tipo de tecnologia, visto que a cada tecnologia requer uma determinada área base.

Relativamente à capacidade instalada, foram criados quatro cenários para abranger os vários tipos de projetos de larga escala mais utilizados (1, 10, 20 e 30 MW) exemplificados nas tabelas 4.3 e 4.4. Em relação ao tipo de tecnologia foram escolhidos dois tipos de sistemas distintos mas não muito diferentes em relação ao método de funcionamento e de produção de aproveitamento da energia solar, que são:

- Sistema PV *tracking* horizontal de 1 eixo com células c-Si;
- Sistema CPV de 2 eixos com células Multi-Junção (MJ) de alta eficiência.

O primeiro sistema fotovoltaico (PV) foi escolhido por um lado devido ao seu preço médio de mercado e à sua eficiência elevada quando comparado com outros tipos de sistemas mais baratos. Por outro lado por ser também um dos sistemas mais utilizados em todo o mundo. Relativamente ao segundo sistema (CPV) foi escolhido tendo em conta a sua elevada eficiência e pelo fato de permitir uma maior

compatibilização dos usos do solo uma vez que o painel está a uma distância substancial do solo fixado apenas por uma peça central. Por outro lado este tipo de sistema está também agora a ser alvo de grandes investimentos, até mesmo no território de Évora. Cada um destes sistemas exige uma determinada área de ocupação, a qual varia consoante o nível de capacidade instalada (MW), como se pode observar pelas tabelas seguintes.

Tabela 4.3 – Requisitos de área por dimensão do projeto fotovoltaico com um sistema PV (Ong *et al*, 2013).

	Capacidade instalada (MW)	Área Direta (ha)	Área Total (ha)
Sistema PV Tracking horizontal NS 1 eixo (Células c-Si)	< 20	2,6 ha/MW	3,5 ha/MW
	1	2,6	3,5
	10	26	35
	> 20	3,6 ha/MW	3,4 ha/MW
	20	72	68
	30	108	102

Tabela 4.4 – Requisitos de área por dimensão do projeto fotovoltaico com um sistema CPV (Ong *et al*, 2013).

	Capacidade instalada (MW)	Área Direta (ha)	Área Total (ha)
Sistema CPV - 2 eixos (Células Multi- - Junção)	< 20	2,8 ha/MW	3,7 ha/MW
	1	2,8	3,7
	10	28	37
	> 20	2,5 ha/MW	3,3 ha/MW
	20	50	66
	30	75	99

Recorrendo ao programa Arcgis, se for imposta uma limitação de área mínima associada a cada tipo de tecnologia para cada cenário de capacidade instalada, obtém-se a área útil para cada cenário. Existe uma diferença entre área útil direta e área útil total. A área útil direta apenas tem em conta a área ocupada pelos módulos fotovoltaicos enquanto a área útil total tem em conta não só a área ocupada pelos módulos mas também a área entre estes e a área necessária para operação e manutenção, como é ilustrado na figura 4.4.



Figura 4.4 - Diferença entre área direta e área total de um projeto de aproveitamento de energia solar (Ong *et al*, 2013).

4.2. Estimativa do potencial de capacidade instalada (MW) e de produção de eletricidade

A determinação do potencial de capacidade instalada é apurado a partir do cruzamento de área necessária por cada tipo de projeto (tabela 4.3 e 4.4) e a área disponível por cenário de ocupação do solo. Para o cálculo do potencial de produção foi necessário uma análise prévia aos valores de produção a serem utilizados. Existem dois tipos de valores que podem ser utilizados para o cálculo do potencial de produção:

- a) Valores reais
- b) Valores estimados

O primeiro corresponde ao tipo de valor utilizado para a elaboração deste estudo ao nível da tecnologia CPV, através de fontes provenientes de centrais similares já em funcionamento. O segundo pode ser calculado através de médios de centrais já em funcionamento (metodologia utilizada no caso da tecnologia PV) ou através de plataformas de cálculo como é o caso da SolarGis da empresa GeoModel.

Os valores provenientes de plataformas de cálculo, podem ser por vezes ligeiramente desfasados ou aparentemente sobrestimados, em relação aos valores médios existentes para determinadas tecnologias. Isto acontece porque estes valores resultam de uma série de cálculos efetuados que não têm em conta, por vezes, fenómenos imprevisíveis e difíceis de calcular da realidade encontrada. Na tabela seguinte

pode-se observar a diferença entre valores reais e estimados de produção de eletricidade e compará-los com as duas tecnologias, uma mais eficiente que a outra.

Como se pode observar na tabela 4.5, o valor estimado, através da plataforma de cálculo da Solargis, para um sistema com menor eficiência (sistema PV), devido às suas características técnicas como tipo de estrutura de suporte e tipo de célula, apresenta um valor (1,9 GWh/MW) superior a um sistema (CPV) supostamente mais eficiente e evoluído e consequentemente mais produtivo (1,88 GWh/MW). À direita é ainda demonstrada uma aproximação feita pela DGEG, a partir de projetos existentes, e por isso mais próxima da realidade para sistemas PV, do tipo *tracking* com células de Silício Cristalino. Não deixa de ser uma aproximação mas é sem dúvida mais real do que o valor calculado pela plataforma Solargis, com uma diferença, substancial, de 0,28 GWh/MW entre os dois.

Tabela 4.5 - Comparação entre um valor de produção de eletricidade (GWh) real e um estimado por cálculos.

	Fonte	Produção de eletricidade (GWh/MW)	
		GeoModel Solar - Solargis (Valor estimado)	(DGEG, 2013a) & (DGEG, 2013b), & Catavento 2007 (Valor Real aproximado)
Sistema PV <i>tracking</i> horizontal NS 1 eixo (Célula c-Si)		1,9	1,63
	Fonte	(Gómez-Gil, 2012)	-
Sistema CPV 2 eixos (Célula Multi-Junção)		1,88	-

No entanto, é de salientar o facto de existirem diversas variáveis em causa na plataforma Solargis, com determinados valores adotados, que podem explicar a diferença entre o valor real de produção e o valor fornecido pela plataforma. Em primeiro lugar o facto de, por exemplo, os dados solares e meteorológicos serem calculados a longo prazo, nomeadamente entre 1994 e 2010 e não para um dado curto espaço de tempo. Este período é realmente diferente do período de funcionamento da central em causa, da qual foi retirado o valor real CPV. Note-se que a cada ano as somas de irradiação podem mudar drasticamente para o mesmo local.

Em segundo lugar o facto de Évora, local para o qual foi calculado o valor de produção PV na plataforma Solargis e a cidade do Sul de Espanha onde se situa a central CPV em funcionamento, serem idênticas em termos de clima, não implica que as temperaturas e a irradiação sejam idênticas. Variáveis estas, que à mínima diferença podem alterar o valor de produção final. Por exemplo a temperatura desempenha um papel muito importante em termos de perdas de conversão de corrente contínua. Por último as perdas padrão utilizadas no cálculo da plataforma Solargis, exemplificadas na tabela 4.6, como por exemplo a

eficiência do inversor, as perdas de corrente contínua e corrente alternada e ainda a disponibilidade, são de certeza diferentes dos utilizados na central CPV.

Na tabela 4.6 são identificados os parâmetros assumidos para o cálculo do valor 1,9 GWh/MW de produção para o sistema PV na plataforma Solargis.

Tabela 4.6 – Características do local e do sistema fotovoltaico usado para determinar a produção de eletricidade por parte do sistema para 1MWp de potência instalada.

Características do Sistema Fotovoltaico	Tipo de Célula	Silício cristalino (c-Si)
	Azimute/Inclinação	180° (sul) / 30°
	Eficiência Inversor	97,5%
	Perdas CC/CA	5,5% / 1,5%
	Disponibilidade	99,0%
Características do local	Cidade	Évora
	Coordenadas	38° 34' 16,51 " N, 07° 58' 18,26" W
	Altitude	254 m
	Inclinação do local	2°
	Irradiação global horizontal anual	1749 kWh/m2
	Temperatura ambiente anual	16,0 °C

O objetivo desta comparação não é demonstrar a dificuldade e incerteza associadas à previsão de funcionamento e produção dos sistemas fotovoltaicos, principalmente quando são sistemas do tipo tracking. Nos restantes sistemas, por exemplo para um sistema PV, com estrutura fixa de silício cristalino, o valor de produção estimado pela plataforma GeoModelSolar é idêntico aos valores obtidos em projetos reais. Na tabela 4.7 estão apresentados os valores utilizados para o cálculo do potencial técnico de produção de eletricidade para cada tipo de projeto.

Tabela 4.7 - Análise de produção de energia e de área necessária para cada tipo de tecnologia e de cenários de potência instalada (MW) (Ong *et al*, 2013 & DGEG, 2013b & DGEG, 2013c & Catavento, Produção de Energia 2007).

	Capacidade instalada (MW)	Produção de eletricidade por área total (GWh/MW)	
Sistema PV Tracking horizontal NS 1 eixo (Células c-Si)	< 20	1,63	
	> 20	1,87*	
Sistema CPV - 2 eixos (Células Multi- -Junção)	< 20	1,88	
	> 20	2,11*	

*Valor percentual de diferença entre um projeto de <20MW e >20MW retirado de Ong *et al* (2013).

Ao contrário das áreas associadas a cada tipo de sistema que foram retiradas de Ong *et al* (2013), os valores de produção de energia associados a cada tipo de tecnologia foram retirados de várias fontes. Por exemplo no caso do sistema PV, o valor utilizado no cálculo do potencial de produção de energia (1,63 GWh/MW), foi retirado de duas fontes diferentes, por forma a dar maior credibilidade e robustez ao valor. A primeira fonte foi o projeto do parque fotovoltaico de Serpa, também chamado de Hércules, que possui um sistema *tracking* de 1 eixo e os módulos compostos por células c-Si. Este parque fotovoltaico já em funcionamento produz 18 GWh/ano com uma potência instalada de 11 MW, o que perfaz os referidos 1,63 GWh/MW de produção de energia. (Catavento, Produção de Energia, SA, 2007).

A segunda fonte foi o DGEG (2013b) e o DGEG (2013c), a partir do qual foi calculado o valor de produção de energia de 1,62 GWh/MW. Este valor resultou da divisão entre a produção total de energia (GWh/ano) através de energia solar fotovoltaica no continente pelo valor de potência instalada (MW), tanto para o ano de 2012 como para 2013. Este é sempre um valor aproximado do valor real de produção de sistemas PV *tracking* com 1 eixo e células de c-Si, no entanto aproxima-se do viável, visto que a esmagadora maioria dos projetos instalados até à data em todo o continente são compostos pelos mesmos tipos de tecnologias, variando apenas esporadicamente o tipo de célula, de c-Si para *Thin Film* (a-Si), com uma eficiência ligeiramente inferior mas no entanto mais baratas ou o tipo de estrutura de suporte, fixa ou de 2 eixos.

No caso do sistema CPV de 2 eixos, com células Multi-Junção, o valor de produção de 1,88 GWh/MW foi retirado de uma central CPV já em funcionamento, situado no Sul de Espanha, em Sevilha, mais propriamente na localidade de Puertollano (Gómez-Gil *et al*, 2012). Esta zona, devido às características em termos de temperatura, radiação directa normal e topografia muito idênticas à região de Évora, torna viável a utilização do valor de produção para este estudo. A radiação global horizontal (GHI) na localidade de Puertollano, por exemplo, ronda em média os 1796 KWh/m², ao passo que na região de Évora esse mesmo valor ronda os 1749 kWh/ m². No entanto o valor de radiação direta normal (DNI) é o mais importante para este tipo de sistemas e no caso de Puertollano, este valor ronda os 1894 kWh/ m², enquanto que na região de Évora o valor de DNI ronda os 1717 kWh/ m², aproximadamente (Gómez-Gil *et al*, 2012 & GeoModel Solar, 2014). Como se pode ver, mesmo os valores de DNI das duas regiões são muito próximos.

Depois de identificadas as áreas exigidas para cada tipo de tecnologia e tendo em conta os quatro cenários de capacidade instalada (MW), foram criados quatro mapas para cada tecnologia identificando quais as áreas úteis para implementação dos projetos. Posteriormente foi então estimado o potencial de produção de eletricidade e de capacidade instalada no Concelho de Évora a partir das áreas úteis existentes para cada cenário de uso do solo e de capacidade instalada.

Sabendo que cada tipo de tecnologia ocupa uma determinada área consoante a capacidade instalada (Ong *et al*, 2013), esta informação foi cruzada com os vários cenários de capacidade instalada criados

obtendo assim os requisitos de área mínima por cada cenário técnico (projeto com determinada tecnologia e determinada capacidade instalada). Posteriormente para se estimar a capacidade instalada (MW) foi necessário cruzar os requisitos de área por cenário técnico com a área útil disponível de cada cenário de ocupação do solo. Após descobrir o potencial de capacidade instalada foi então possível estimar o potencial de produção de eletricidade (GWh/ano) cruzando o potencial de capacidade instalada com os valores de produção de eletricidade (GWh/MW) já demonstrados na tabela 4.7.

A metodologia de avaliação do potencial técnico de capacidade instalada (MW) e de produção de eletricidade (GWh/ano) é exemplificada na figura 4.5.

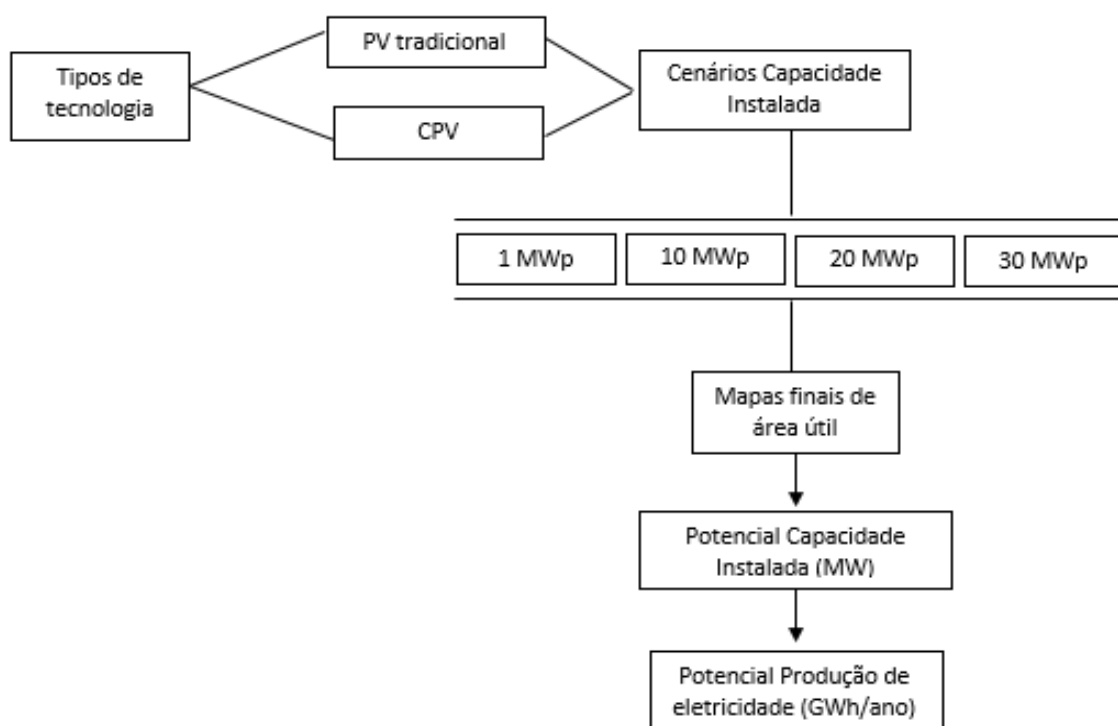


Figura 4.5 - Metodologia da avaliação potencial da capacidade instalada e da produção de eletricidade.

5. Resultados e Discussão

A apresentação dos resultados está organizada de acordo com as questões colocadas na metodologia. Desta forma em primeiro lugar serão apresentados os resultados associados à área total disponível associados a cada cenário de ocupação do solo. Em segundo lugar serão apresentados os resultados referentes às áreas úteis associadas não só a cada tipo de cenário de ocupação do solo, mas também a cada tipo de tecnologia e a cada cenário de capacidade instalada (MW), acompanhado dos respectivos mapas de área útil para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica. Posteriormente serão apresentados quer o potencial de capacidade instalada para os vários cenários de capacidade instalada (MW) associados aos dois tipos de tecnologia fotovoltaica assim como o potencial de produção de eletricidade (GWh) por unidade de tempo e de área.

I) Qual a área disponível para implementação projetos de aproveitamento de energia renovável?

Na tabela seguinte é representada a área disponível para implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável.

Tabela 5.1 - Área disponível dos diferentes cenários de uso do solo.

Cenários		Base		Flexível 1		Flexível 2		Rigoroso	
Disponibilidade de área		Máxima		Intermédia				Mínima	
Custos de preparação dos terrenos		-		Elevado (F.1)		Médio (F.2)		Baixo	
Exposição		Ótima	Fraca	Ótima	Fraca	Ótima	Fraca	Ótima	Fraca
Área disponível	ha	21 134	5 999	12 845	3 866	8 308	2 579	5 244	1 707
	% *	16	5	10	3	6,3	2	4	1,3

* O valor percentual é referente à área total do Concelho de Évora

Através desta tabela consegue-se perceber que à medida que o cenário fica mais restritivo, relativamente ao tipo de culturas e ao nível de ocupação no terreno permitido, a área disponível para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica também varia, ficando também ela mais reduzida. Contudo, à medida que a área diminui, o custo associado à preparação dos terrenos, quer em termos de abate de culturas arbóreas quer em termos de limpeza de culturas arbustivas também diminui. O cenário de disponibilidade máxima (27 133 ha), de carácter ilustrativo, que tem em conta apenas as restrições do PDM de Évora, é naturalmente a situação com maior área disponível visto que as restrições,

neste caso, são apenas as oriundas do PDM, ao passo que os outros cenários têm para além das restrições do PDM, outras a ter em conta.

Por exemplo, o cenário Flexível 1, com 16 711 ha, possui quase duas vezes menos área que o cenário base. Por outro lado, o mesmo cenário tem uma vez e meia mais área disponível que o cenário Flexível 2 (10 887 ha) e mais de duas vezes a área que o cenário rigoroso Rigoroso (6951 ha), visto que tem um nível de restrições menos apertado que os dois últimos. No entanto o nível do custo associado à limpeza dos terrenos que caracterizam o cenário Flexível 1 é muito maior que por exemplo o cenário Rigoroso que só tem em conta culturas arbustivas e não arbóreas assim como terrenos sem valor económico e natural. Outra característica importante que se deve salientar, é o facto de existir, para qualquer um dos cenários, mais área associada com exposição solar ótima do que com exposição fraca, característica esta que deve ser aproveitada.

II) Qual a área útil para aproveitamento de energia solar fotovoltaico?

A área útil calculada com base nos dois tipos de tecnologia fotovoltaica e nos cenários de capacidade instalada, definidos na metodologia, é exemplificada na tabela 5.2.

Tabela 5.2 -Áreas disponíveis para cada cenário de uso do solo e consequente área útil associada a cada um dos cenários técnicos.

Cenários	Flexível 1		Flexível 2		Rigoroso	
Exposição	Ótima	Fraca	Ótima	Fraca	Ótima	Fraca
Área disponível (ha)	12 845	3 866	8 308	2 579	5 244	1 707
Total (ha)	16 711		10 887		6 951	
Cenário Técnico PV	PV tracking 1 eixo horizontal NS (c-Si)					
Área útil (1MW)	8 728	2 375	5 716	1 635	3 905	1 155
Total (ha)	11 103		7 351		5 060	
Área útil (10MW)	1 154	449	821	352	675	312
Total (ha)	1 603		1 173		987	
Área útil (20MW)	352	69	258	69	258	69
Total (ha)	421		327		327	
Área útil (30MW)	104	0	104	0	104	0
Total (ha)	104		104		104	
Cenário Técnico CPV	CPV tracking 2 eixo (Multi-Junção)					
Área útil (1MW)	8 614	2 332	5 619	1 599	3 852	1 127
Total (ha)	10 946		7 218		4 978	
Área útil (10MW)	938	377	713	316	556	276
Total (ha)	1315		1029		832	
Área útil (20MW)	352	69	258	69	258	69
Total (ha)	421		327		327	
Área útil (30MW)	104	0	104	0	104	0
Total (ha)	104		104		104	

Visto que a área disponível diminui de cenário para cenário (Tabela 5.2), associado à imposição de restrições crescentes ao nível do uso do solo, é natural que a área útil também decresça e que influencie os restantes resultados como o potencial de capacidade instalada (MW) e a produção de energia (GWh/ano). No entanto existem outros parâmetros que também fazem variar a área útil, são eles a área ocupada por cada tipo de tecnologia e o tamanho do projeto associado aos cenários de capacidade instalada. A tecnologia CPV ocupa mais área que o sistema PV, logo terá menos área útil quando comparada com os cenários associados à tecnologia PV. No entanto a diferença de área útil entre os dois tipos de tecnologia é sempre muito pequena. Existe sim uma grande diferença entre as áreas úteis para projetos de 1 MW e de 30 MW, tendo em conta que o segundo, ocupa à partida trinta vezes mais área.

De salientar a quantidade de área útil existente para sistemas de 1 MW com tecnologia PV, cerca de 11.103 ha, assim como com tecnologia CPV, cerca de 10.946 ha.

Pode-se ver também que a partir dos cenários de capacidade instalada de 20 MW a área útil entre os dois tipos de tecnologia, dentro do mesmo cenário de uso do solo, são idênticos ou mesmo iguais, visto que para estes cenários as áreas ou terrenos existentes já são os mesmos. A explicação para estes valores está associada à existência de poucas áreas contínuas com valores superiores a 60 ha, relativamente a área disponível.

De salientar também o grande potencial de área associado à exposição ótima (SW-SE) face à exposição menos apropriada (restante). Por exemplo para o caso de projetos com 1 MW e de 20 MW de capacidade instalada a diferença entre exposições ronda em média os 28% para os três cenários de uso do solo, favorecendo a exposição ótima. O mesmo acontece com os restantes cenários de capacidade instalada mas com valores diferentes, por exemplo no caso do cenário de 10 MW o valor de diferença percentual passa para 40%.

As figuras 5.1 a 5.5 apresentam os mapas que resultaram dos vários cenários de uso do solo assim como dos cenários tecnológicos, evidenciando a área útil com exposição fraca e exposição ótima.

Cenário Base - Máxima disponibilidade

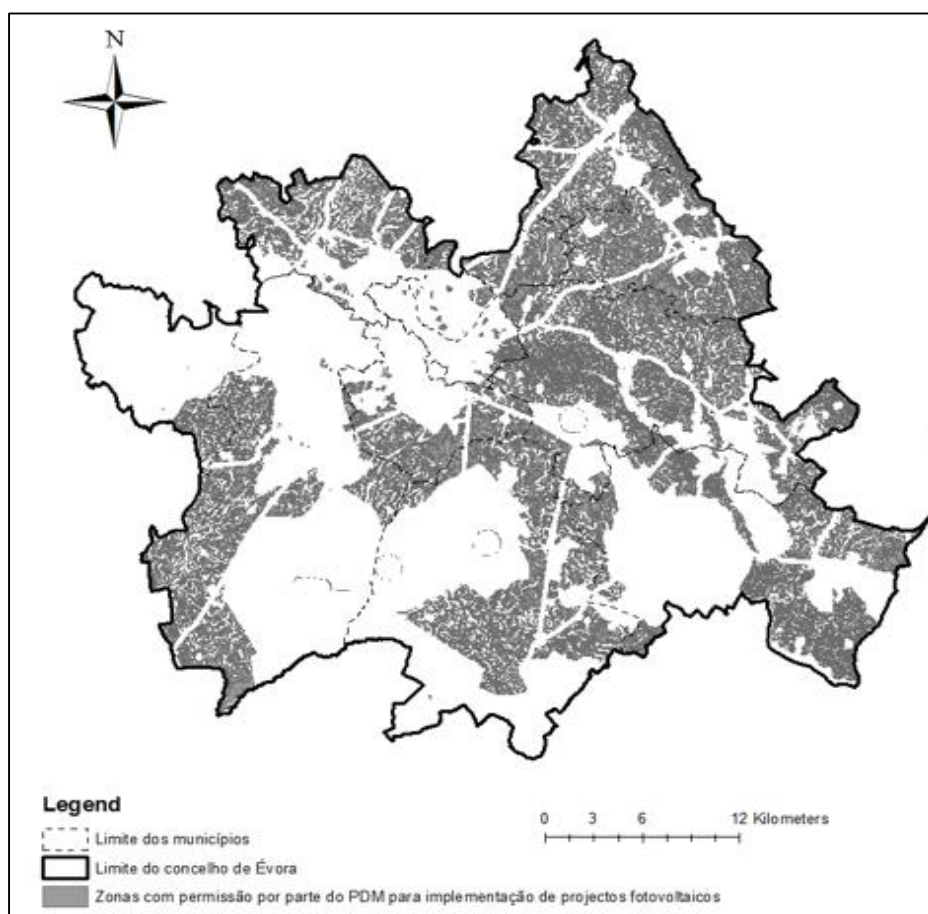


Figura 5.1 - Mapa do Concelho de Évora evidenciando as zonas com permissão para implementação de projetos fotovoltaicos por parte do Relatório do Plano Diretor Municipal de Évora (2007).

O cenário Base, de carácter ilustrativo, possui cerca de 27 133 ha de área disponível para aproveitamento de energia renovável. Como já foi referido este cenário não pode ser contemplado quer na estimativa do potencial de capacidade instalada quer na estimativa do potencial de produção de eletricidade, uma vez que abrange toda a área agrícola existente no Concelho com permissão por parte do PDM para implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável. Área esta que possui variadas culturas que apesar de não fazerem parte das zonas com carácter de proteção, são consideradas protegidas como é o caso dos Montados de Sobro e de Azinho. Por outro lado contém também outro tipo de culturas com elevado rendimento para os seus proprietários, como é o caso das vinhas existentes na região. Como tal este cenário tem apenas um carácter ilustrativo da área disponível total para implementação de projetos de larga escala de produção eletricidade a partir de energia renovável.

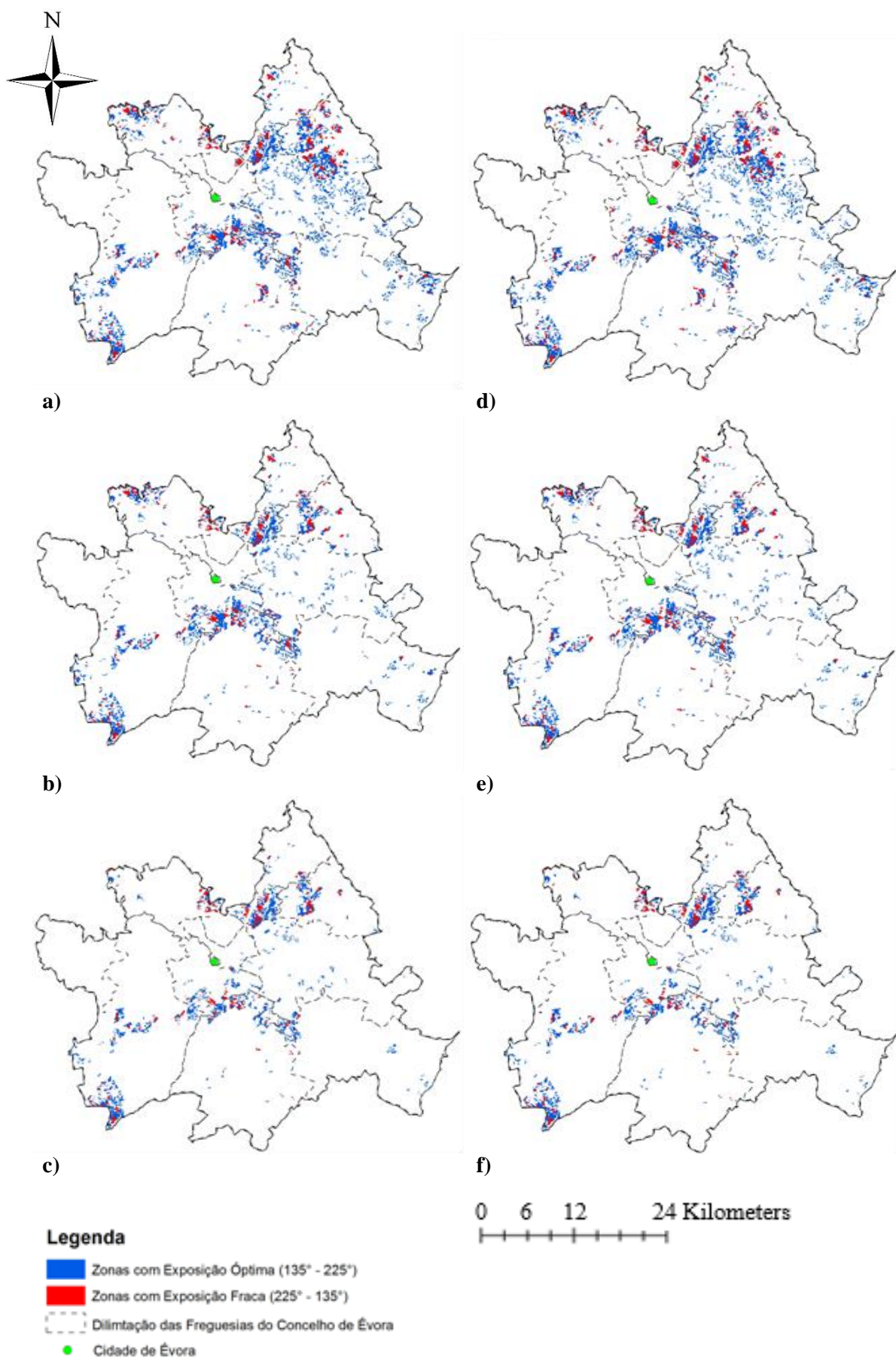


Figura 5.2 – Localização de projetos 1 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.

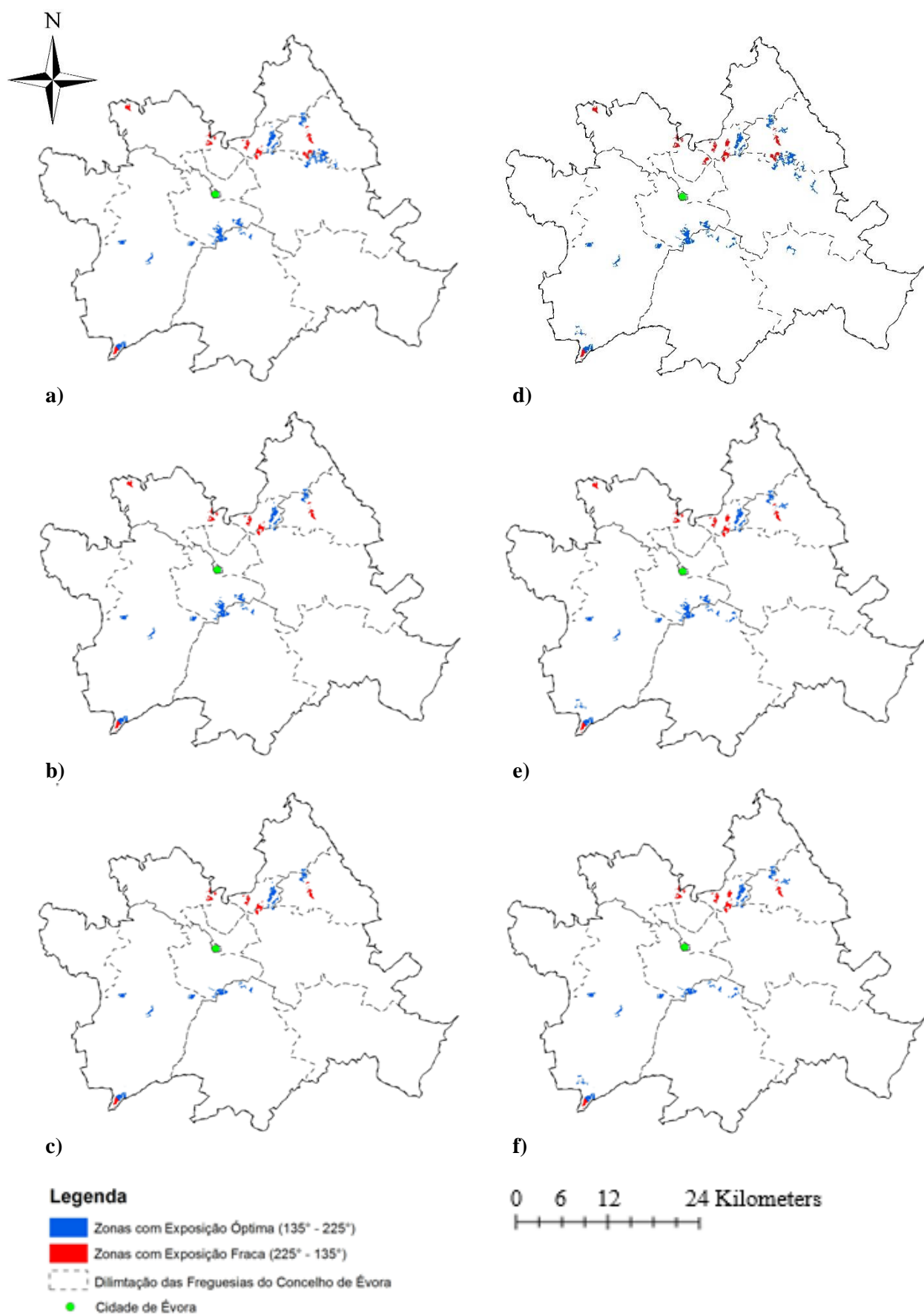


Figura 5.3 – Localização de projetos 10 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.

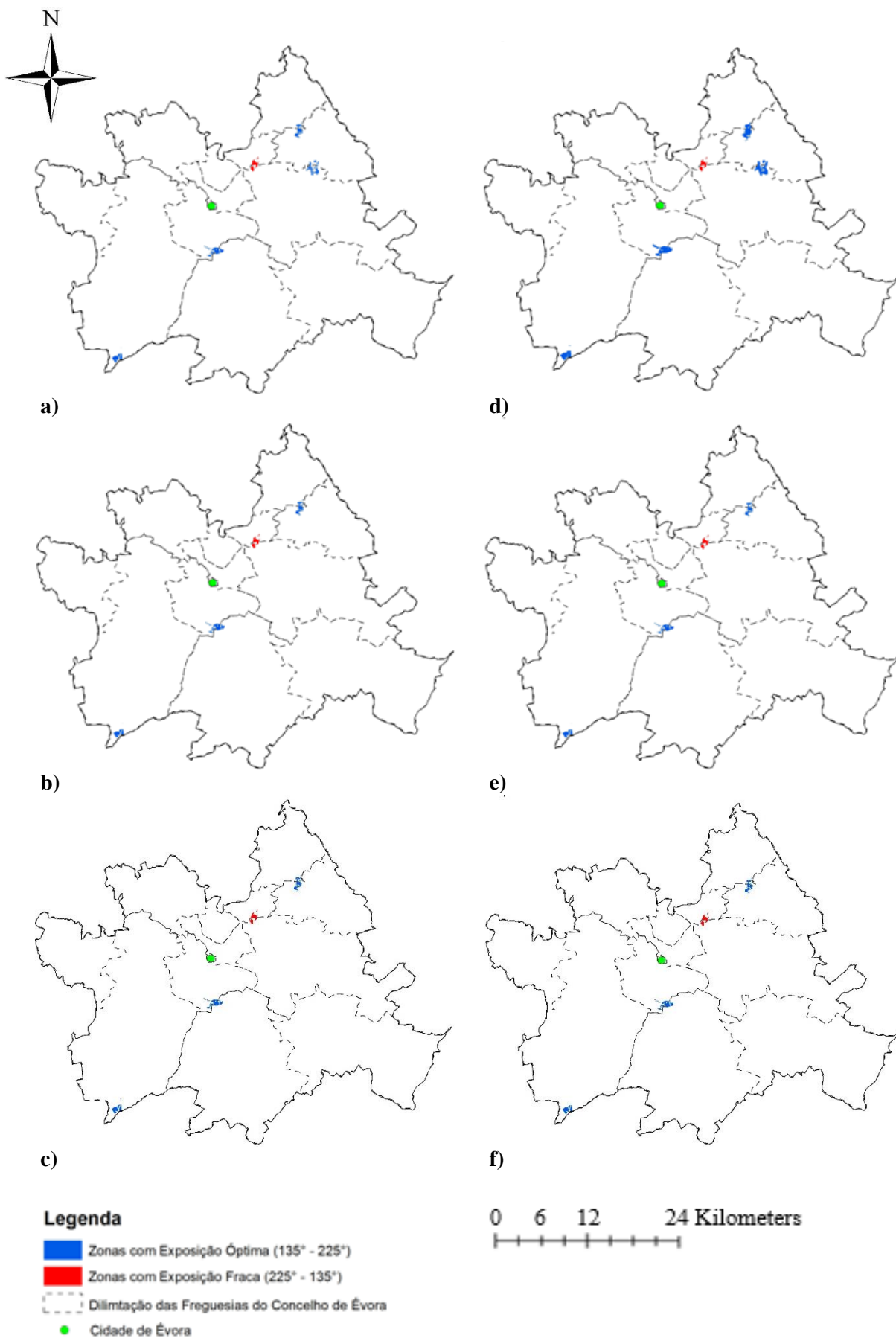


Figura 5.4 – Localização de projetos 20 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.

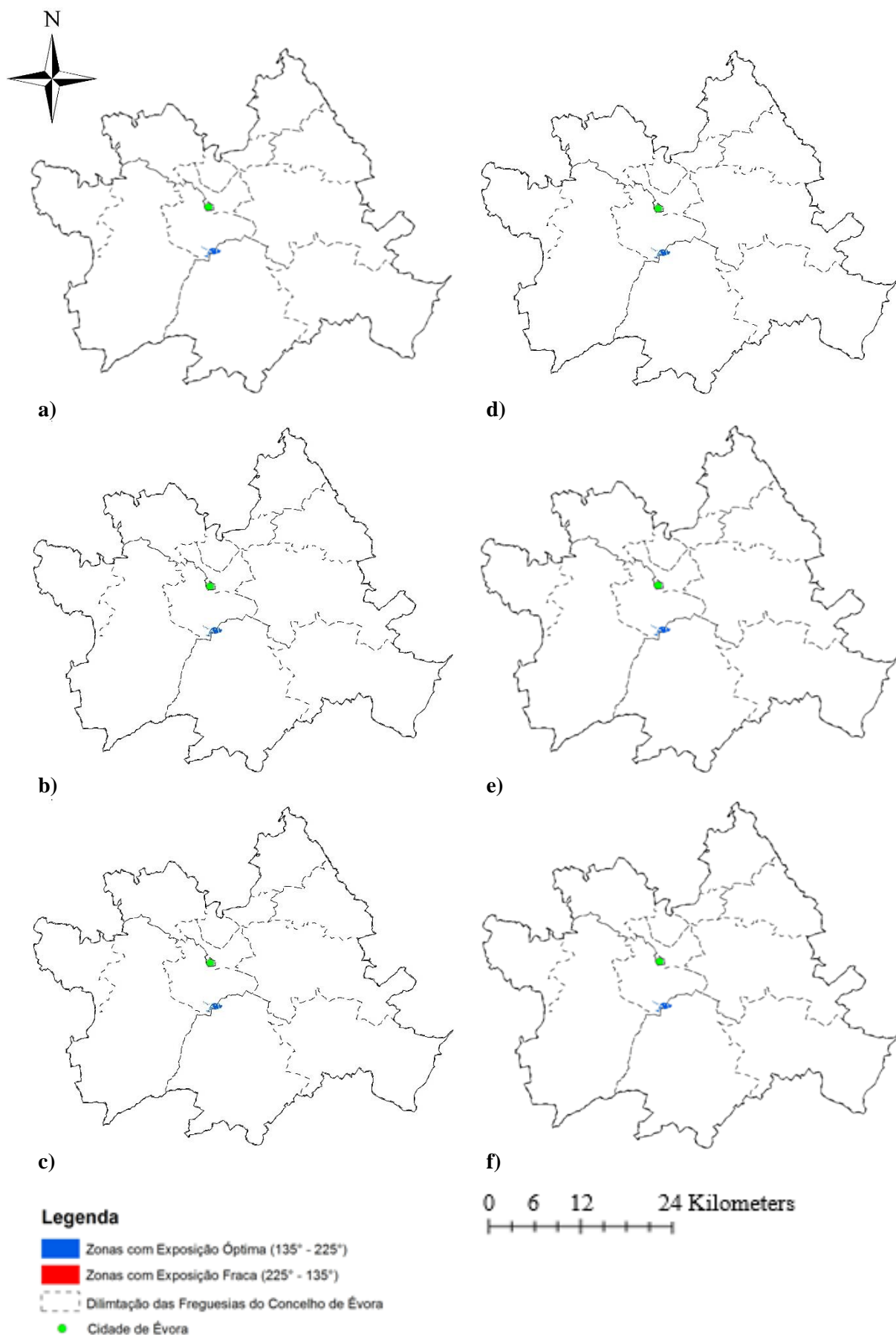


Figura 5.5 – Localização de projetos 30 MW: a) Cenário Flexível 1/ CPV; b) Cenário Flexível 2/ CPV; c) Cenário Rigoroso/ CPV; d) Cenário Flexível 1/ PV; e) Cenário Flexível 2/ PV; f) Cenário Rigoroso/ PV.

Observando os mapas anteriores, percebemos que a maior parte da área disponível para implementação de projetos, ao nível da potência instalada de 1 MW, se situam quer a Nordeste, no centro e a Sudoeste do Município. No caso de projetos com 10 MW e 20 MW a área disponível está mais concentrada a Nordeste e a no centro do Município. Por outro lado, a única área disponível capaz de suportar um projeto de 30 MW encontra-se no centro do Município, abaixo da cidade de Évora.

III) Qual o potencial de capacidade instalada (MW) e de produção de eletricidade (GWh/ano) para projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica no Município de Évora ?

III.1) Potencial de capacidade instalada (MW)

A partir dos cenários de uso do solo e dos vários cenários associados à dimensão do projeto, calculou-se o potencial de capacidade instalada para cada cenário (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Potencial de capacidade instalada para os vários cenários analisados.

Cenários	Capacidade instalada	1 MW		10 MW		20 MW		30 MW	
	Tecnolog.	PV (MW)	CPV (MW)	PV (MW)	CPV (MW)	PV (MW)	CPV (MW)	PV (MW)	CPV (MW)
	Exposiç.								
Flexível 1	Exp. Ótima	2 494	2 328	330	254	104	107	31	32
	Exp. Fraca	679	630	128	102	20	21	0	0
	Total	3 173	2 958	458	356	124	128	31	32
Flexível 2	Exp. Ótima	1 633	1 519	235	193	76	78	31	32
	Exp. Fraca	467	432	101	85	20	21	0	0
	Total	2 100	1 951	336	278	96	99	31	32
Rigoroso	Exp. Ótima	1 116	1 041	193	150	76	78	31	32
	Exp. Fraca	330	305	89	75	20	21	0	0
	Total	1 446	1 346	282	225	96	99	31	32

Devido à necessidade mais baixa de área útil comparativamente aos restantes sistemas de capacidade instalada, denota-se, para o sistema de 1 MW, independentemente da tecnologia, um grande potencial de capacidade instalada. Já por outro lado, denota-se um potencial muito mais baixo para os sistemas de 30 MW, quando comparado com os de 1 MW, o que não quer dizer que seja menos vantajoso. O potencial de capacidade instalada é menor por exemplo para o cenário de 30 MW, tendo em conta que a potência instalada é proporcional à área útil necessária para implementação do projeto. Para ambas as tecnologias, no cenário de 30 MW, independentemente do cenário de ocupação do solo, apenas é

possível a implementação de 31 MW, ou seja, de apenas um projeto. Neste caso, este valor baixo vai ao encontro do facto de existirem mais áreas pequenas, com dois ou três hectares, do que áreas contínuas, ou seja, sem obstáculos, com cerca de 104 hectares, valor este associado aos sistemas de 30 MW. Este valor não é restritivo, é apenas indicativo de que será necessário eliminar alguns obstáculos (rios, estradas, zonas edificadas, zonas protegidas) por forma a ter um projeto com maiores dimensões. Para tal, será necessário uma análise prévia ao terreno, para perceber qual a melhor zona para se efetuar esta transição entre áreas.

O potencial de capacidade instalada é naturalmente mais elevado no cenário Flexível 1, tendo em conta a dependência com a área útil. O cenário de ocupação do solo Flexível 1, por exemplo, para a tecnologia PV com 1 MW instalado, possui um potencial de 3173 MW ou seja 3173 projetos de 1 MW de potência instalada o que equivale só no concelho de Évora a quase 3000 vezes mais do que está instalado no país todo em 2012. No cenário de uso do solo Flexível 2 o panorama mostra ser ainda muito vantajoso, por exemplo no caso do cenário de projetos com 1 MW de potência, é possível a implementação de 2 100 projetos PV e 1 951 projetos CPV. No caso do cenário Rigoroso o número de projetos passa para 1 446 para a tecnologia PV e 1 346 CPV, reduzindo cerca de 30% face ao cenário anterior.

Apesar dos valores de potencial técnico serem mais elevados nos cenários Flexível 1 e 2, os valores que devem ser tidos em conta, são os valores do cenário Rigoroso, tendo em conta que demonstram ser em termos de sobrevalorização, os mais plausíveis. Para o cenário Rigoroso o potencial técnico de capacidade instalada para a tecnologia PV varia entre os 1 446 e os 31 MW, já para a tecnologia CPV varia entre os 1 346 e os 32 MW, correspondendo a uma diferença de 7% entre o potencial de capacidade instalada entre tecnologias.

III.2) Potencial de produção de eletricidade(GWh/ano)

Sabendo o potencial de capacidade instalada, ao cruzar a informação da tabela 4.5, que indica o valor de produção (GWh/MW) para cada cenário de uso de capacidade instalada, sabemos o valor do potencial técnico de produção de eletricidade (GWh/ano), indicado na tabela seguinte.

Tabela 5.4 - Potencial de produção (GWh) dos três cenários consoante o cenário de capacidade instalada (MW).

Cenários	Produção de eletricidade	1 MW		10 MW		20 MW		30 MW	
	Tecnolog. Exposiç.	PV	CPV	PV	CPV	PV	CPV	PV	CPV
Flexível 1	Exp. Ótima	4 065	4 377	538	478	195	226	58	68
	Exp. Fraca	1 107	1 184	209	192	37	44	0	0
	Total	5 172	5 561	747	670	232	270	58	68
Flexível 2	Exp. Ótima	2 662	2 855	383	363	142	165	58	68
	Exp. Fraca	761	812	165	160	37	44	0	0
	Total	3 423	3 667	548	523	179	209	58	68
Rigorouso	Exp. Ótima	1 819	1 957	315	282	142	165	58	68
	Exp. Fraca	538	573	145	141	37	44	0	0
	Total	2 357	2 530	460	423	179	209	58	68

Ao nível da produção, os resultados são diferentes dos resultados do potencial de capacidade instalada, visto que as tecnologias utilizadas são também diferentes ao nível da produção de energia, sendo uma mais eficiente que a outra, embora no entanto mais dispendiosa. Embora os valores de área útil e consequentemente de capacidade instalada sejam idênticos os sistemas com tecnologia CPV, vão ser mais produtivos como se pode observar na 5.4.

Relativamente aos resultados obtidos do potencial de produção de energia (GWh/ano), estes demonstraram um maior potencial para o cenário Flexível 1 com tecnologia CPV apresentando uma variação entre 5 561 e 68 GWh/ano. Já com sistema PV para o mesmo cenário a variação o potencial é muito indêntico no entanto inferior apresentando uma variação entre 5 172 e 58 GWh/ano. No cenário Flexível 2, o potencial de produção de eletricidade a partir de sistemas PV apresenta valores entre 3 423 e os 58 GWh/ano enquanto que para sistemas CPV a variação é de 3 667 e 68 GWh/ano. Já em relação ao cenário Rigoroso os valores o potencial desce quase para metade, em relação ao cenário Flexível 1, visto que a área útil também desce, no entanto o potencial mantém-se muito promissor com uma variação entre 2 357 e 58 GWh/ano para a tecnologia PV e 2 530 e 68 GWh/ano para a tecnologia CPV. De referir que por exemplo para o caso dos 58 e dos 68 GWh/ano está associado uma área de 104 ha enquanto para os valores mais elevados a área útil associada ronda os 5 060 ha.

É importante referir que no cenário de potência instalada mais elevado (30 MW) o potencial é igual para todos os cenários de ocupação do solo pois estão todos associados a uma mesma área útil (104 ha). Outro ponto importante a focar tem a ver com o fato dos cenários de capacidade instalada de pequena dimensão

terem um potencial de produção e de potência instalada mais elevado que os de grande dimensão, devido às suas pequenas necessidades de área contínua.

A análise feita na tabela 5.5 mostra uma diferente perspetiva, em função da rentabilidade por unidade de área é nos permitido perceber qual o sistema mais vantajoso em termos de produção por área ocupada.

Tabela 5.5 - Potencial de produção por hectare (GWh/ha) dos três cenários de uso do solo para os diferentes limites mínimos de capacidade instalada e para as duas tecnologias.

Cenários		1 MW		10 MW		20 MW		30 MW	
		PV	CPV	PV	CPV	PV	CPV	PV	CPV
F.1.1	Produção (GWh)	5 172	5 561	747	670	232	270	58	68
	Área útil (ha)	11 103	10 946	1 603	1 315	421	421	104	104
	GWh/ha	0,47	0,51	0,47	0,51	0,55	0,64	0,56	0,65
F.1.2	Produção (GWh)	3 423	3 667	548	523	179	209	58	68
	Área útil (ha)	7 351	7 218	1 173	1 029	327	327	104	104
	GWh/ha	0,47	0,51	0,47	0,51	0,55	0,64	0,56	0,65
R.2	Produção (GWh)	2 357	2 530	460	423	179	209	58	68
	Área útil (ha)	5 060	4 978	987	832	327	327	104	104
	GWh/ha	0,47	0,51	0,47	0,51	0,55	0,64	0,56	0,65

Através da tabela acima pode-se observar para além das diferenças entre cenários de capacidade instalada, que a produção (GWh) por hectare, aumenta à medida que se aumenta a potência instalada. Os valores de produção de eletricidade (GWh/ano) por hectare variam entre os 0,47 e os 0,65 GWh/ha.

No entanto é a tecnologia CPV que possui um maior nível de produção por hectare em todos os cenários de potência instalada, quando comparada com a tecnologia PV. Sendo que o valor mais alto ocorre para os cenários de 20 e 30 MW (0,65 GWh/ha). No entanto esta diferença é mais elevada nestes dois últimos cenários de potência instalada (0,9 GWh/ha) comparativamente com a diferença para os cenários de 10 e 20 MW (0,4 GWh/ha). Conclui-se que os sistemas com tecnologia CPV de 20 e 30 MW são os mais rentáveis em termos de produção por hectare (0,65 GWh/ha).

A interpretação desta análise serve para os três cenários de ocupação do solo, pois como se pode ver através da tabela 5.5, os valores de produção por hectare entre os cenários são idênticos, podendo ser esta análise extrapolada, da mesma forma, para os três cenários de ocupação do solo.

6. Conclusão

É notório que a tecnologia solar fotovoltaica se tem vindo a impor com grande potencial, a nível mundial, no sector das energias renováveis, podendo num futuro próximo liderar este mercado, sobretudo devido à redução de preço que se tem sentido nos últimos anos. As previsões indicam que, entre 2030 e 2050, a energia solar fotovoltaica será, a par da energia eólica, a que mais contribuirá para a produção de eletricidade na Europa com 556 TWh produzidos em 2030 e 1347 TWh em 2050 (Zervos *et al*, 2010).

O objetivo principal desta dissertação é encontrar as áreas rurais disponíveis mais propícias para a instalação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica e as áreas úteis associadas a projetos com diferentes tecnologias e diferentes dimensões ao nível da capacidade instalada. Outro grande objetivo passa por estimar o potencial técnico de capacidade instalada e de produção de eletricidade de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica para duas tecnologias distintas, contribuindo para suportar expectativas de investimento no mercado de energia solar fotovoltaica centralizado de larga escala ($> 1\text{MW}$), em particular no Concelho de Évora.

Apuraram-se dois grandes conjuntos de resultados: a área útil e a estimativa do potencial de produção de eletricidade associada a diferentes projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica.

Para chegar a estes dois resultados, foi necessário em primeiro lugar avaliar qual a área rural disponível para implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável. Depois de se proceder a uma análise extensiva das características físicas e administrativas do território em causa, apresentadas no PDM de Évora e noutros documentos legislativos, percebeu-se que apesar de existirem várias áreas protegidas ao nível ambiental e paisagístico muitas delas são flexíveis à implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável. No entanto, por vezes, apesar de o PDM de Évora confirmar a possibilidade de implementação, esta permissividade não foi tida em conta devido à existência de características que constituem um entrave à realização do projeto. Depois de identificadas todas as restrições à implementação de projetos de aproveitamento de energia renovável, existentes no território, foi possível eliminá-las e obter um valor (27 133 ha) de área total disponível. Note-se que a área total do Concelho é de 130 900 ha.

Em segundo lugar, analisou-se os vários tipos de usos do solo existentes na área do Concelho, criando três cenários de ocupação do solo. Estes cenários variam entre si, ao nível dos custos inerentes à preparação do terreno, associados a determinados tipos de culturas. O sistema de informação geográfico Arcgis, revelou-se uma ferramenta imprescindível, em particular nestas duas primeiras fases, ligadas à análise e gestão do território.

Outro tipo de restrição aplicado foi o declive máximo ($< 3\%$) e o da exposição solar, dividido em exposição ótima (SW - SE) ou mais apropriada e a exposição menos apropriada ou fraca (a restante). No caso da exposição solar, o território demonstrou ter um maior nível de exposição ótima do que fraca

em todos os cenários de ocupação do solo. Por exemplo, dos 16 711 ha de área disponível do cenário Flexível 1, a área identificada é de 12 845 ha com exposição ótima e de 3 866 ha de exposição fraca.

Para determinar qual a área útil para implementação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica foram escolhidos dois tipos de tecnologias distintas, nomeadamente PV e CPV, dado que cada tipo de tecnologia tem uma área mínima específica de ocupação do terreno por MW instalado. No entanto, para cada tecnologia, foram considerados quatro sub-cenários em termos de capacidade instalada (1, 10, 20 e 30 MW). Isto porque um projeto com 1 MW de potência instalada terá à partida mais área disponível do que por exemplo um de 30 MW, devido à facto de as áreas do Concelho não serem áreas contínuas, ou seja, são espacialmente repartidas devido aos diversos tipos de restrições. A maior área contínua existente por exemplo dentro da área disponível é de 104 ha.

Os resultados obtidos do potencial técnico tanto de capacidade instalada (MW) como de produção de eletricidade (GWh/ano) para o Concelho de Évora foram muito positivos. Entre os três cenários de ocupação do solo, o cenário Rigoroso demonstra, devido aos resultados elevados associados aos cenários Flexíveis, ser o cenário com resultados mais plausíveis. Como tal o cenário Rigoroso será o cenário alvo das conclusões finais que se seguem, relativamente ao potencial técnico das duas tecnologias estudadas.

6.1. Potencial técnico solar PV

O potencial técnico de capacidade instalada para a tecnologia PV no cenário Rigoroso varia aproximadamente entre 1,5 GW e 31 MW, para o cenário de capacidade instalada de 1 MW e de 30 MW respetivamente. À medida que o cenário tecnológico considera valores crescentes de projeto, o potencial de capacidade instalada vai naturalmente diminuindo, visto que a área contínua necessária, aumenta. No seguimento do resultado obtido para o cenário de capacidade instalada mais elevado (30 MW), apenas será possível um único projeto com esta dimensão, tendo em conta o máximo de área contínua existente no Concelho (104 ha). Este valor pode no entanto ser alterado se o sistema for repartido por vários terrenos separados, colmatando assim a falta de área continua exigida para determinada capacidade instalada, necessitando no entanto para estes casos específicos de uma análise extra que não foi contabilizada nesta dissertação. Em todo o caso, este baixo potencial de capacidade instalada, é oito vezes superior à potência total instalada em todo o Distrito de Évora até ao ano de 2013, inclusive (DGEG, 2013a).

Em relação ao potencial técnico de produção de eletricidade (GWh/ano), os resultados obtidos variam, tal como no potencial técnico de capacidade instalada, consoante a dimensão do projeto. À medida que o cenário de capacidade instalada aumenta, a tendência aponta para uma redução exponencial do valor de produção de eletricidade. Este fenómeno de redução está directamente dependente com a redução existente de área útil associado ao aumento de capacidade instalada do projeto, exemplificado na tabela 5.2. Como tal, o potencial de produção de eletricidade por exemplo para projetos de 20 MW é inferior

aos de 1 MW de capacidade instalada. Os resultados obtidos para este potencial técnico para o cenário mais conservador (Rigorous) variam entre os cenários de capacidade instalada de 1 MW e 30 MW, aproximadamente 2 TWh/ano a 58 GWh/ano, respetivamente. O valor de 58 GWh/ano associado ao cenário de potência instalada de 30 MW, é tão baixo pois apenas é permitido a instalação de apenas um projeto com tais dimensões, devido às elevadas necessidades de área útil. Ao contrário por exemplo do valor do potencial de produção de eletricidade do cenário de capacidade instalada de 1 MW (requer trinta vezes menos área por projeto em relação ao de 30 MW) que está associado a cerca de 1 500 projetos, daí a variação entre os resultados.

6.2. Potencial técnico solar CPV

Para a tecnologia CPV, o potencial técnico de capacidade instalada para o cenário Rigorous varia aproximadamente entre 1,3 GW e 32 MW, para o cenário de capacidade instalada de 1 MW e de 30 MW respetivamente. O que corresponde a uma diferença de potencial técnico de capacidade instalada de 8% entre a tecnologia PV e CPV. O potencial técnico de capacidade instalada de projetos com 1 MW de aproximadamente 1,3 GW corresponde a mais de mil projetos idênticos ao último projeto a ser instalado do Município de Évora, pela empresa Glintt Energy, com um sistema CPV e uma capacidade instalada de 1,2 MW.

Apesar de ter um menor potencial de capacidade instalada que o sistema PV, o sistema CPV, apresentou maiores valores de potencial técnico de produção de eletricidade (GWh), devido à sua maior eficiência.

Ao nível do potencial de produção de eletricidade, por exemplo, no caso do cenário Rigorous, em termos de ocupação do solo associado a uma área útil de 4 978 ha (cerca de 4% da área total do Município) para sistemas CPV de 1 MW, verifica-se que o potencial de produção de energia é de 2 530 GWh/ano, o que corresponde aproximadamente 9 vezes o valor da fatura elétrica anual do Concelho de Évora e a cerca de 5% do consumo anual de eletricidade em Portugal continental.

Por outro lado para o cenário potência instalada mais elevado (30 MW), o valor obtido de potencial técnico de produção de eletricidade é muito mais baixo, cerca de 68 GWh/ano, no entanto este valor está apenas associado a uma área útil para implementação de projetos de 104 ha, aproximadamente 400 vezes menos área útil que no caso de projetos de 1 MW, daí a diferença tão grande entre os resultados.

No entanto, os valores de produção de eletricidade podem ter outro significado se os dividirmos pela área útil (ha) ocupada. Assim em vez de serem indicativos de quantidade passam a ser valores indicativos de rentabilidade por espaço ocupado

Nesta perspetiva é o sistema CPV com 20 e 30 MW de capacidade instalada que apresenta valores mais vantajosos (0,65 GWh/ha) como mostra a figura 6.1, independente do cenário de ocupação do solo. Por outro lado o valor mais baixo pertence à tecnologia PV no cenário de 1 e 10 MW de capacidade instalada

com um valor de 0,47 GWh/ha. O facto de o valor de produção por ha ser idêntico ou igual entre cada tecnologia, para os diferentes cenários de ocupação do solo, evidencia que em termos de rentabilidade, os três estão no mesmo patamar, o que faz variar a rentabilidade é o tipo de tecnologia e o nível de potência instalada, que, neste caso, quanto maior melhor.

Através destes valores, pode-se concluir que entre as tecnologias estudadas e entre todos os cenários aplicados, o sistema CPV com 20 e 30 MW de capacidade instalada representa o sistema mais rentável e como tal mais vantajoso para ser implementado, em termos de capacidade instalada de produção.

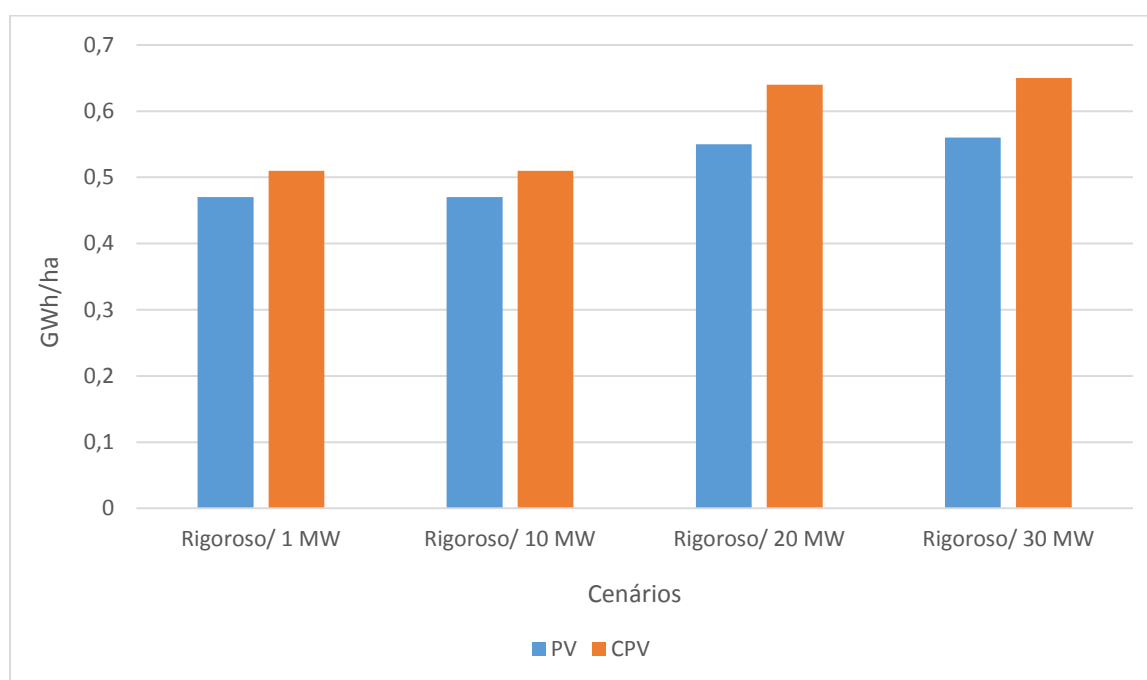


Figura 6.1 - Produção (GWh) por hectare das duas tecnologias para os quatro cenários técnicos de capacidade instalada no cenário Rigoroso de ocupação do solo.

Os valores apurados demonstram o potencial na região do Alentejo e refletem uma oportunidade de investimento vantajosa tanto para o investidor, em termos de área útil, como para o consumidor, neste caso Portugal.

O potencial PV de capacidade instalada, calculado neste trabalho, comparado com a potência instalada de tecnologia fotovoltaica em Portugal (321 MW) (DGEG, 2013c) indica claramente uma total subvalorização deste tipo de aproveitamento de energia. Por exemplo, o resultado de 1,5 GW obtido para o cenário Rigoroso de ocupação do solo com um sistema PV de 1 MW instalado só no Município de Évora, equivale a quase 4 vezes mais do que está instalado em todo o país.

Em abril de 2014, o valor de produção de eletricidade a partir de sistemas fotovoltaicos em Portugal rondava os 504 GWh/ano, um quinto do valor máximo de potencial estimado para o cenário mais conservador de ocupação do solo (cenário Rigoroso) com um sistema PV de 1 MW, correspondente

apenas ao potencial do Município de Évora. Nessa mesma altura, a região Alentejo foi responsável por 43% da produção a partir de sistemas fotovoltaicos no país, cerca de 216 GWh/ano, o que equivale a aproximadamente 10% do potencial técnico apurado. De referir que o valor apresentado de 216 GWh/ano corresponde a região toda do Alentejo, a qual comporta 47 Municípios, e que o valor de potencial técnico apurado corresponde apenas à área 1 dos Municípios da região do Alentejo, neste caso o Município de Évora.

Se tivermos como termo de comparação, os valores de consumo de eletricidade do Concelho de Évora de 2012 com o valor de 267 GWh (DGEG/MEE, 2014) e o valor de consumo de eletricidade de Portugal continental de 46 162 GWh, datado do ano de 2013 (DGEG 2013a), os valores estimados de potencial de produção de energia, mostram uma situação muito vantajosa em termos de aproveitamento deste tipo de energia. Por exemplo o consumo de eletricidade do Município de Évora no ano de 2012, corresponde apenas a 8% do valor estimado para o cenário mais conservador de ocupação do solo (cenário Rigoroso) com um sistema CPV de 1 MW. Este mesmo valor estimado corresponde a 5% da eletricidade consumida também no ano de 2012 em todo o continente português. Salienta-se no entanto que terão de ser tidos em conta outro tipo de aspetos, como os custos, para apurar o valor de potencial mais realista.

6.3. Limitações do estudo e desenvolvimentos futuros

Uma das principais limitações desta dissertação refere-se à metodologia de cálculo da produção de eletricidade dos dois sistemas fotovoltaicos. Esta limitação prende-se com o facto de ter sido utilizado o valor de produção de eletricidade de apenas um projeto para os dois tipos de tecnologia pode influenciar ligeiramente os resultados, tendo em conta que o valor de produção pode depender de inúmeros fatores que não são caracterizados nas especificações gerais do projeto.

Outra limitação deste trabalho prende-se com o fato de não ter sido tido em conta no cálculo da área útil a área associada à rede de transporte de eletricidade, o que leva a que os valores quer de área útil como do potencial técnico de capacidade instalada e de produção de eletricidade estejam ligeiramente sobrevalorizados.

Como objeto de estudo futuro, poderão ser calculados outros potenciais de energia fotovoltaica interessantes como por exemplo ao nível habitacional para a região de Évora, por forma a comparar a produção deste tipo de sistema com o calculado nesta dissertação. Por outro lado poderia ser também calculado, para a mesma zona do caso estudado, o potencial fotovoltaico de centrais CSP, centrais estas com uma morfologia diferente em termos de disposição de todo o sistema e de níveis de produção, sendo esta mais uma variante da energia solar na qual se poderá apostar.

Outro tema interessante, passa por calcular o potencial fotovoltaico na lua, que vai ao encontro de projetos mais futuristas (2030) ligados à energia solar espacial, que consiste em captar parte da radiação

eletromagnética proveniente do Sol através de painéis fotovoltaicos e transmiti-la para a Terra por micro-onda, recebidas por rectenas (um género de antenas que converte as micro-ondas em corrente contínua).

Para análise futura, será interessante elaborar um estudo comparativo entre a rentabilidade económica de um hectare ocupado por painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade e um hectare ocupado por culturas agrícolas, o que contribuiria para suportar decisões de investimento em projetos de energia vs projetos agrícolas

Referências bibliográficas

- Amper Central Solar, SA. (s.d.). *Central Solar Fotovoltaica da Amareleja - Referência Mundial no desenvolvimento das energias renováveis*. ACCIONA. Madrid. Consultado em 21 de Julho de 2014. Disponível em: http://www.acciona-energia.es/media/315790/Central%20solar%20fotovoltaica%20de%20Amareleja_Portugu%C3%A9s.pdf
- Akpan, U., & Akpan, G. (2011). The Contribution of Energy Consumption to Climate Change: A Feasible Policy Direction. *Journal of Energy Economics and Policy*, 2(1), 21-33.
- American Chemical Society (ACS). (2014). Energy from the Sun - ACS Climate Science Toolkit | Energy Balance. Consultado em 23 de Agosto de 2014, em: <http://www.acs.org/cmierontent/acs/en/climatescience/energybalance/energyfromsun.html>
- Andrade, J. (2011). Energia no Sistema Climático, Textos de apoio da unidade curricular de Microclimatologia dos Habitats. Texto inédito. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Geociências. Consultado em 4 de Abril de 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/8382/1/Energia%20no%20Sistema%20Clim%C3%A1tico.pdf>
- Câmara Municipal de Évora (CME) (2014). *Caracterização do Concelho*. Consultado a Julho 20, 2014 em : <http://www4.cm-evora.pt/pt/conteudos/Concelho/Caracterizacao%20do%20Concelho/Caraterizacao%20do%20Concelho.htm>
- Catavento, Produção Energia, SA. (2007). *Parque Fotovoltaico de Serpa*. Consultado em 21 de Julho de 2014. Lisboa. Disponível em: http://www.c3p.org/Workshop%202007%20Documents/Piero%20Dal%20Maso_%20Serpa%20Solar%20Plant%20.pdf
- Cavalum SGPS, SA. (s.d.). *Operações fotovoltaicas*. Estarreja. Consultado em 21 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.cavalum.com/pt/.home.php>
- Chu, Y. & Meisen, P. (2011). Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies. Global Energy Network Institute (GENI). San Diego. Consultado em 10 de Março de 2014. Disponível em: <http://www.geni.org/globalenergy/research/review-and-comparison-of-solar-technologies/Review-and-Comparison-of-Different-Solar-Technologies.pdf>
- Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CPEE). (2006). *Energia Solar - Princípios e Aplicações*. Rio de Janeiro. Brasil. Consultado em Junho 1, 2014 em: http://www.CPEE.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf
- Concelho Local de Ação Social de Évora (CLASE). (2012). Diagnóstico Social Évora 2013|2015. Consultado em 20 de Julho de 2014. Disponível em: [http://www2.cm-evora.pt/RedeSocial/Documentos%20PDF/2013/Diagn%C3%B3stico%20Social_CLASE_2013\(1\).pdf](http://www2.cm-evora.pt/RedeSocial/Documentos%20PDF/2013/Diagn%C3%B3stico%20Social_CLASE_2013(1).pdf)
- Collares-Pereira, M. (1998). As Energias Renováveis, a opção inadiável. (pp. 85-110). Lisboa: Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica (SPES).
- DGEG. (2013a). *Balanço Energético Sintético 2012*. Direcção Geral de Energia e Geologia.

DGEG. (2013b). *Renováveis: estatísticas rápidas dezembro 2013*. Direção Geral de Energia e Geologia, nº 106

DGEG. (2013c). *Renováveis: estatísticas rápidas maio 2014*. Direção Geral de Energia e Geologia, nº 111

European Commission (EC). (2001). *Solar Energy - Promotion Campaign*. Berlin. Consultado em 10 de Fevereiro de 2014. Disponível em: http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc2/EN/BERLI_EN.PDF

EC. (2006). *European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy*. Brussels. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0105&from=EN>

EC. (2007). *Portugal - Renewable Energy Fact Sheet*. Brussels. Consultado em: 10 de Fevereiro de 2014. Disponível em: http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/renewables/renewables_pt_en.pdf

EC. (2009). *Commission welcomes adoption of climate and energy package*. IP/09/628. Brussels. Consultado em: 10 de Fevereiro de 2014. Disponível em: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-09-628_en.htm?locale=en

Emilio, M., Kuhn, J., Bush, R. & Scholl, I. (2012). “Measuring the Solar Radius from Space during the 2003 and 2006 Mercury Transits”. *The Astrophysical Journal*, 750 (2): doi:10.1088/0004-637X/750/2/135

European Photovoltaic Industry Association (EPIA). (2010). *Photovoltaic Energy - Electricity from the Sun*. Consultado em 28 de Maio de 2014. Disponível em: http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Electricity_from_the_Sun_2010_update_02.pdf

EPIA. (2012). *Connecting the sun - Solar photovoltaics on the road to large-scale grid integration..* Consultado em 2 de Junho de 2014. Disponível em: <http://www.epia.org/news/publications>

EPIA. (2013). *Global Market Outlook - For Photovoltaics 2013 - 2017*. Consultado em 17 de Abril de 2014. Disponível em: http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf

eSolar, Abengoa Solar, Acciona, Ausra, BrightSourceEnergy & Schott Solar. (2008). *Solar Thermal Technology on an Industrial Scale*. Consultado em 4 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.solar-thermal.com/solar-thermal.pdf>

Farrel, J. (2011). *Concentrating PV: A Cost-effective Option for Distributed Solar*. Renewable Energy World. Consultado em 2 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/blog/post/2011/04/concentrating-pv-a-cost-effective-option-for-distributed-solar>

Generg. (2012). *Portfolio: Solar*. Lisboa. Consultado em 21 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.generg.pt/pt/portfolio/energia-solar/>

- GeoModel Solar. (2011). Mapa de irradiação global horizontal (GHI) no continente Português - SolarGIS. Consultado em 8 de Abril de 2014. Disponível em: <http://solargis.info/>
- GeoModel Solar. (2013). Mapa de irradiação global horizontal (GHI) no mundo. SolarGIS. Consultado em 8 de Abril de 2014. Disponível em: <http://solargis.info/>
- GeoModel Solar. (2014). Solargis. Consultado em 8 de Abril de 2014. Disponível em: <http://solargis.info/>
- Giestas. (2014). Consultado em 8 de Julho de 2014. Disponível em www.giestas.pt
- Gombert, A., (2009). Concentrix Solar`s - FLATCON® Technology. Freiburg. Consultado em 20 de Julho de 2014. Disponível em: http://www.pole-derbi.com/photo_derbi/DERBI%202009_Gombert_2009-06-11.pdf
- Gómez-Gil, F., Wang, X. & Barnett, A. (2012). “Analysis and Prediction of Energy Production in Concentrating Photovoltaic (CPV) Installations”. *Energies* 2012, 5, 770-789; doi:10.3390/en5030770
- GREENPRO. (2004). *Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projetos e instalação*. Lisboa. Portugal. Consultado em 4 de Abril de 2014. Disponível em: <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>
- Leite, A. (2011). Eletrificação de zonas rurais em países em desenvolvimento. Dissertação de Mestrado em engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro.
- Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N. & Porro, G. (2012). *U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis*. NREL. Consultado em 28 de Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>
- Loureiro, D. (2009). *Desenvolvimento da Energia Solar em Portugal*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). Departamento de Energias Renováveis (DER). Consultado em 2 de Agosto de 2014. Disponível em: http://www.abae.pt/programa/EE/escola_energia/2009/docs/energia_solar_david_loureiro.pdf
- Haigh, J. (2011). *Solar influences on Climate*. London: Imperial College. Grantham Institute for Climate Change. Briefing paper No 5. Consultado em 1 de Abril de 2014. Disponível em: <https://workspace.imperial.ac.uk/climatechange/Public/pdfs/Briefing%20Papers/Solar%20Influences%20on%20Climate.pdf>
- Heliotrop. (2014). *Technology*. Consultado em 4 de Junho de 2014. Disponível em: <http://www.heliotrop.fr/en-technologie.php>
- Herzog, A., Lipman, T., & Kammen, D. (2001). Renewable energy sources. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Forerunner*.

- Hofierka, J., & Šúri, M. (2002). “The solar radiation model for Open source GIS : implementation and applications”. Presented in *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference* (pp 1-19). Trento, Italy.
- Jesus, L., Almeida, M., & Pereira, E. (2005). A Integração de Fotovoltaicos nos Edifícios em Portugal - Dificuldades e Oportunidades. *Engenharia e Vida*, 20(Janeiro), 38-45.
- Kennewell, J. McDonald, A. (s.d.), *The Solar Constant*. Australian Government. IPS Radio and Space Weather Services. Consultado em 22 de Agosto de 2014. Disponível em: http://www.ips.gov.au/Category/Educational/The%20Sun%20and%20Solar%20Activity/General%20Info/Solar_Constant.pdf
- Kost C., Mayer, J. Thomsen, J., Hartmann, N., Charlotte, S., Philipps, S., Nold, S., Lude, S., Noha, S., Schlegl, T. (2013). Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems (ISE). Consultado em 10 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf>
- Instituto Nacional de Estatística (INE). (2011). Consultado em 20 de Julho de 2014. Disponível em: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main
- International Finance Corporation (IFC). (2012). *Utility Scale Solar Power Plants - A Guide For Developers and Investors*. South asia Department. Consultado em 12 de Abril de 2014. Disponível em: [http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/04b38b804a178f13b377ffdd29332b51/SOLAR %2BGUIDE%2BBOOK.pdf?MOD=AJPERES](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/04b38b804a178f13b377ffdd29332b51/SOLAR%2BGUIDE%2BBOOK.pdf?MOD=AJPERES)
- International Energy Agency (IEA)/OECD. (2011). *World Energy Outlook*. Consultado em 13 de Julho de 2014. Disponível em: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2011/es_portuguese.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2013), Trends 2013 in PV Applications - *Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012. Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)*. Paris, France. Consultado em 13 de Julho de 2014. Disponível em: http://helapco.gr/pdf/IEA_PVPS_Trends_Report_2013_v1_0_01.pdf
- International Energy Agency (IEA)/ Energy Technology systems analysis programme (ETSAP) & International Renewable Energy Agency (IRENA). (2013). *Solar Photovoltaics - Technology Brief*. Paris, France. Consultado em 23 de Março de 2014. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E11%20Solar%20PV.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2011). *Renewable Energy Sources and Climate change mitigation - Summary for Policymakers and Technical Summary*. Consultado em 11 de Abril de 2014. Disponível em https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2012). *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series - Solar Photovoltaics. Volume 1: Power Sector, Issue4/5*. Consultado em 23 de

- Março de 2014. Disponível em: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-SOLAR_PV.pdf
- IEA/OECD. (2013). *World Energy Outlook*. Paris, France. Consultado em 13 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2013SUM.pdf>
- Kurtz, S. (2008). *Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry*. NREL. Consultado em 26 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/4097502-Opportunities-and-Challenges-for-Development-of-a-Mature-Concentrating-Photovoltaic-Power-Industry.pdf>
- MARL Energia - Central Fotovoltaica, SA. (2009). *Inauguração oficial da Central Fotovoltaica MARL ENERGIA*. Consultado em 21 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.marlenergia.pt/pdf/comunicado1.pdf>
- Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG)/ Ministério da Economia e do Emprego (MEE). (2014). *Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo - Évora*. Consultado 4 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.pordata.pt/Municípios/>
- Myers, D. R. (2013). *Solar Radiation: Practical Modeling for Renewable Energy Applications*. Energy and the Environment. CRC Press
- Monte ACE. (2007). *Caracterização da Região Alentejo Central - Zona de Intervenção do Monte*. Consultado em 20 de Julho de 2014. Disponível em: http://www.monte-ace.pt/site/Caracterizacao_ZI.pdf
- NASA. (2007). *The 8-minute travel time to Earth by sunlight hides a thousand-year journey that actually began in the core*. Consultado em 12 de Abril de 2014. Disponível em: http://sunearthday.nasa.gov/2007/locations/ttt_sunlight.php
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2003). *A consumers guide, get your power from the sun*. U.S. Department of energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, USA. Consultado em 28 de Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35297.pdf>
- Netplan Telecomunicações e Energia, SA. (2011). *Centrais Fotovoltacias*. Lisboa. Consultado em 21 de Julho de 2014. Disponível em: <http://www.netplan.pt/energia/centrais-fotovoltacias>
- NREL. (2014). *National Center for Photovoltaics*. Consultado em 1 de Outubro de 2014. Disponível em: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
- NREL. (s.d.). *Solar Buildings - Solar Thermal Systems: Solar Heating R&D*. U.S. Department of Energy, Solar Energy Technologies. Consultado em 10 de Junho de 2014. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/gen/fy04/36831m.pdf>
- Ölz, S., Sims, R. & Kirchner, N. (2007). "Contribution of Renewables to Energy Security". (IEA)/OECD. Paris, France. Consultado em 10 de Junho de 2014. Disponível em: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/so_contribution.pdf

- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R. & Heath, G. (2013). *Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States*. NREL. Consultado em 10 de Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf>
- Parlamento Europeu. (2008). *Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: “três vintes” até 2020*. Consultado em 10 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081216IPR44857+0+DOC+XML+V0//PT>
- Pidwirny, M. (2013). *Causes of Climate Change*. Encyclopedia of Earth. Washington, USA. Consultado em 1 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.eoearth.org/view/article/150960/>
- PORDATA. (2012). Base de dados Portugal contemporâneo. Consultado em 1 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.pordata.pt/Municípios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- Proença, E. (2007). *A ESF em Portugal - Estado da Arte e Perspetivas de Desenvolvimento*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa: Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- Qiang, Fu (2003). “Radiation (Solar)”. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. 1st Edition. Amsterdam: Academic Press. pp. 1859-1863. Consultado em 2 de Abril de 2014. Disponível em: http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter3/Ency_Atmos/Radiation_Solar.pdf
- Quercus. (2014). Comunicado. Consultado em 1 de Setembro de 2014. Disponível em: <http://www.quercus.pt/comunicados/2014/janeiro/3297-portugal-atingiu-valor-recorde-do-seculo-na-producao-de-eletricidade-renovavel-e-de-emissoes-de-co2-evitadas>
- Remund, J., Wald, L., Lefèvre, M., Ranchin, T., & Page, J. (2003). “Worldwide Linke turbidity information”. *Proceedings of ISES Solar World Congress*, 16-19.
- Resende, M. (2003). *Associação de células*. Lisboa: Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Consultado em 20 de Março de 2014. Disponível em: <http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/Panneaux Photovoltaïques/Cellule/Association.htm>
- Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (RWE). (2014). *Natural Gas and Electricity - Deposits and Extraction of Natural Gas*. Consultado em 1 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.rwe.cz/en/deposits-of-natural-gas/>
- Mayfield, R. (2008). Rack & Stack - PV Array Mounting Options. *Home Power. Revista eletrónica*. Consultado em 5 de Agosto de 2014. Disponível em: www.homepower.com/.../HP124_pg58_Mayfield.pdf
- Sanchez, J. (2009). Tracked - PV Array Systems and Performance. *Home Power: Revista eletrónica*. Consultado em 5 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/tracked?v=print>
- Silva, A. (2010). *Estimativa de Produção em Centrais Solares de Concentração*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Porto: Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

- Soitec. (2014). *Soitec's Concentrix™ technology*. Consultado em 4 de Junho de 2014. Disponível em: <http://www.soitec.com/en/technologies/concentrix/>
- Sven, T., Zervos, A. & Schäfer, O. (2007). *Energy [r]evolution - A Sustainable World Energy Outlook*. Greenpeace International & European Renewable Energy Council (EREC). Consultado em 24 de Abril de 2014. Disponível em: www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/energy_revolution.pdf
- Šúri, M., Huld, T. a., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. a. (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81(10), 1295–1305. doi:10.1016/j.solener.2006.12.007.
- Taylor, R. (2006). *Solar Thermal - Technology & Applications, NAEMI Solar Electric & Thermal Training Workshop*. NREL. Consultado em 5 de Junho de 2014. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/tribalenergy/pdfs/course_solar_taylor_thermal.pdf
- Tree Removal. (2014). *How much does tree removal cost ?* Consultado em 8 de Julho de 2014. Disponível em <http://www.treeremoval.com/costs/#averagecost>.
- United States Environment Protection Agency (EPA). (2014). Causes of Climate Change - The Main Greenhouse Gases. Consultado em 23 de Abril de 2014. Disponível em: <http://www.epa.gov/climatechange/science/causes.html>
- Voivontas, D., Assimacopoulou, D., Mourelatos, A., & Corominas, J. (1998). “Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system”. *Renewable energy*, 13(3), 333-344.
- Walker, K., Eland, J. & Nigam, P. (2010). *Low Carbon - Renewable Energy and Heat Mapping Study*. Cap. 5, pp. 97. London Borough of Redbridge. Consultado em 10 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.londonheatmap.org.uk/Content/uploaded/documents/Redbridge%20Study%20Body%20Chapter%205%20-%209.pdf>
- Wild, M. & Blatter, H. (2014). *Radiation and Climate Change*. Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich. Consultado em 27 de Março de 2014. Disponível em: http://www.iac.ethz.ch/edu/courses/master/modules/radiation_and_climate_change/download/Script_radiationbasics_2014
- World Health Organization (WHO). (2010). Climate change and health. Consultado em 20 de Fevereiro de 2014. Disponível em: http://www.wiredhealthresources.net/resources/NA/WHO-FS_ClimateChangeAndHealth.pdf
- Zervos, A., Lins, C. & Muth, J. (2010). *RE-thinking 2050 - A 100% Renewable Energy Vision for the European Union*. European Renewable Energy Council (EREC). Consultado em 24 de Abril de 2014. Disponível em: http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/ReThinking2050_full%20version_final.pdf

Legislação consultada

Alteração ao Relatório do Plano Diretor Municipal de Évora. Janeiro 2012.

Alteração ao regulamento do Plano Diretor Municipal de Évora. Outubro de 2012.

Alteração ao Relatório Ambiental do Plano Diretor Municipal de Évora. Fevereiro de 2012. Avaliação ambiental estratégica (AAE).

DL n.º 6/2008 de 26 de fevereiro. Diário da República n.º 40/2008 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto Regulamentar n.º 6/2008, de 26 de Fevereiro. Diário da República, n.º 40/2008. - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

DL n.º 107/2009 de 15 de Maio. Diário da República n.º 94/2009 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Diretiva 2001/77/CE de 27 de Setembro de 2001 - relativa à promoção da eletricidade produzida a partir de fonte.

Diretiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009 - relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Portaria n.º 829/2007 de 1 de Agosto - Plano de Intervenção no Espaço Rural do Sítio de Monfurado (PIERSM).

Regulamento do Plano Diretor Municipal de Évora. Diário da República n.º 18/2008, II série.

Relatório do Plano Diretor Municipal de Évora. Dezembro 2007. Estudos de Caracterização do Território do Município de Évora.